ZUANTAN
ONGCHENGXUE

钻探工程学

主　审　李景霞

主　编　杜　平　张立新　杨　丽

副主编　单忠刚　周明杰　冀学文　于长波



电子科技大学出版社

前　言

多年来，随着国家对职业教育的逐步重视，地学职业教育也取得了长足进展。相对来说我国的地学职业教育起步较晚，并且与之相配套、比较系统的专业教材更较为稀少。为此，编者经过积极的努力，编写了这套能够满足高等职业教育教学需要的地学类教材。

本教材是根据高等职业教育《“十一五”高职高专规划教材编写说明》的规定，考虑到采矿、地质、勘探等专业的教学特点而编写的，可以供高等职业教育三年制和五年制地学类专业使用，同时适当兼顾相关工种“职业技能鉴定”对高级工理论基础知识的普遍要求，适当照顾各地“专升本”考试对钻探工程课程的基本要求。

从大体上看，本教材将钻探工程课程的教学内容分为共性和个性两部分，设十六章。共性部分包括岩石的物理性质、设备安装与开孔、岩心、土样的采用、钻孔弯曲、简易水文观测与孔深校正及孔内事故预防、冲孔、护壁与堵漏、钻井液、水文水井钻探、大口径工程口工程孔施工、工程地质钻探等十章，阐述钻探工程的整体性问题；个性部分包括硬质合金钻进、金刚石钻进、冲击回转钻进、反循环钻进、受控定向钻进等五章内容，最后介绍了钻探工程的发展趋势。共性部分与个性部分前后贯穿、彼此呼应、有机结合。

在教材编写过程中，我们试图把握高职教育的培养目标、人才基本规格和本课程的教学基本要求；深入研究和充分吸收近年来国内外高职教育课程改革、教材建设的成果和经验；尝试改革课程体系和知识结构，联系生产实际更新课程内容；努力培养学生的工程意识、专业技能、钻研精神、务实精神、创新精神和创业能力；努力采用新标准、新名词、新图样，反映成熟的新理论、新技术、新方法、新工艺；着力体现本课程综合性、实践性和创新性的特征。

本教材由杜平、张立新、杨丽任主编，单忠刚、周明杰、冀学文、于长波任副主编。具体编写分工如下：七台河职业学院杜平编写第一章、第八章、第九章、第十一章，七台河职业学院张立新编写第四章、第十三章和第十五章，七台河职业学院杨丽编写第五章、第六章、第七章、第十二章、第十四章和第十六章，七台河职业学院单忠刚、周明杰、冀学文编写第二章、第三章和第十章，龙煤集团七台河分公司于长波参与了第四章、第十三章和第

十五章部分内容的编写并负责全书的统稿和校对工作。张立新、于长波、杨丽负责书稿中图片的绘制和处理工作。

本教材的出版,从品种上构建了我国资源勘查类专业高等职业教育教材建设的体系和框架,极大地缓解了这一专业层次教材的短缺和不足。精品教材的诞生有一个反复锤炼的过程,本套教材的编写虽经多方努力,问题和不足仍在所难免,恳请各校师生及广大读者提出宝贵意见,以便修订时更改和完善。

钻探工程是一门实践性很强的技术性课程,因此,在讲授本课程时,必须做到理论与实验、实习相结合,并加强实践性教学环节,以提高学生实际操作能力和独立工作的能力。在本课程讲授前应安排学生进行钻探认识教学实习,在实习过程中了解钻探的工艺过程,了解钻探设备、钻具、钻头等相关实践知识。在本课程讲授后应安排学生进行钻探生产实习,以理解消化所学理论。

本教材在编写过程中参考了兄弟院校过去编写的相关教材,引用了近年来有关钻探工艺方面的新成果,得到了黑龙江科技大学王恩元教授的大力支持,提出了许多指导性意见和建议,参与了本教材的审稿把关工作。在此,编者一并致以谢意。

编　者

2013 年 10 月 8 日

目　　录

第一章　岩石的物理性质

钻进工作的对象是岩石。因岩石的矿物成分、结构和构造的不同,岩石的物理力学性质相差很大,对钻进的影响和反应也各不相同。为更好地进行钻进工作,提高钻进质量和效率,降低消耗,必须对岩石的物理力学性质进行全面了解。

研究岩石的物理力学性质,主要是研究与破碎岩石有关的因素,从而掌握其破碎的规律性,以便创造更有利的破碎条件,更好地选择钻进方法、钻进规程和切削具、研磨材料及钻探设备类型等。

组成地壳的各种岩石,按其成因特征可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。如果把变质岩包括在岩浆岩中,则地壳内岩浆岩占95%,沉积岩占5%(其中泥质页岩占4%,砂岩占0.75%,碳酸盐类岩石占0.25%,上述三类岩石,钻探工作中几乎都会遇到。煤田钻探、石油天然气和地热井勘探,所遇到的岩石大都是沉积岩。

由于岩石的构成和状态不同,所表现出的物理力学性质也不相同。一般岩浆岩的硬度较大(如花岗岩等),沉积岩的硬度较低(如页岩,泥岩等),由地表风化作用变质的变质岩较软(如高岭土),而由于温度及压力作用变质的变质岩较硬(如夕卡岩、石 英岩等)。

第一节　岩石的物理性质

岩石的物理性质是岩石在生成过程中,由于构造变动和风化作用形成的,也称为岩石的基本性质。如相对密度、块体密度、孔隙度、裂隙性、含水性、透水性、松散性、流散性和稳定性等。与钻进有关的岩石物理性质有以下几种:

1. 块体密度和孔隙度

块体密度是岩石质量与其体积之比,其定义式为 $= m/V$

式中　m—岩石试样的质量,g;

V—岩石试样的总体积,cm^3;ρ—岩石的块体密度,g/cm^3。

岩石的块体密度分为三种,即天然块体密度、块体干密度和块体饱和密度。

组成岩石的矿物颗粒之间的间隙称为岩石的孔隙。岩石的孔隙是由地质构造作用、外力和内部应力的作用而产生的,它还与组成岩石的颗粒形状、大小及性质有关。岩石中孔隙的多少常用孔隙度来表示。孔隙度是岩石中孔隙的体积在岩石总体积 V 中所占的百分比。

$$n = V_0/V \times 100\%$$

式中 V_0—岩石中孔隙的体积，cm^3；V—岩石总体积，cm^3；n—孔隙度，%。

岩石的孔隙度与岩石的块体密度有关，孔隙度大的岩石易透水，并能降低岩石的强度及稳定性。一般岩石埋藏深度越深，岩石的密度越大，其强度和硬度也越大。岩浆岩比沉积岩致密、孔隙度小，因而其密度大，强度和硬度也大。

常见岩石的密度和孔隙度的变化范围如表1-1所示。

表1-1 常见岩石的密度和孔隙度变化范围

岩石	密度/(g/cm^3)	孔隙度/%	岩石	密度/(g/cm^3)	孔隙度/%
花岗岩	2.6~2.7	0.5~1.5	页岩	2.0~2.4	10~30
粗晶玄武岩	3.0~3.05	0.1~0.5	石灰岩	2.2~2.6	5~20
流纹岩	2.4~2.6	4~6	白云岩	2.5~2.6	1~5
安山岩	2.2~2.3	10~15	片麻岩	2.9~3.0	0.5~1.5
辉长岩	3.0~3.1	0.1~0.2	大理岩	2.6~2.7	0.5~2
玄武岩	2.8~2.9	0.1~1.0	石英岩	2.6~5	0.1~0.5
砂岩	2.0~2.6	5~25	板岩	2.6~2.7	0.1~0.5

2. 含水性、透水性和裂隙性

由于岩石中有孔隙存在，水便会浸入岩体，从而使岩石含水。岩石含水的多少取决于孔隙的大小和数量。岩石的含水性一般用湿度或含水率来表示，一般用占干燥岩石质量的百分数来表示，如砂岩为60%，石灰岩为2.5%。

岩石的含水性对岩石的强度有影响，孔隙大的岩石，水浸后其抗压强度降低25%~45%，一般也要降低15%~20%。致密的岩浆岩，由于孔隙度小，所以其强度降低最少。水中含有表面活性物质，会使岩石的强度降低。在坚硬岩石中钻进可使用软化剂处理。

岩石透水性是指岩石能被水透过的性质。它以单位面积和时间内通过岩石的水量来表示。一般岩石孔隙度愈大，透水性愈高，岩石的强度和稳定性愈低。由于水是一种溶剂，当水透过岩石时，会溶解岩石中的某些成分而形成大孔隙或溶洞。在透水性强的岩石中钻进，还容易发生冲洗液的漏失。某些小孔隙的岩石，在吸收一定水分后，其体积会膨胀，如有的黏土吸水后体积可增加50%，高岭土可增加200%，此时水就不会通过。具有这种性质的岩石叫不透水岩石，钻进时易引发缩径、糊钻或憋泵现象。

裂隙性也是岩石的重要物理性质，它对岩石的强度及可钻性都会产生很大影响。岩石按裂隙性的分级如表1-2所示。

表1-2 岩石裂隙性分级表

裂隙性级别	岩石的裂隙性程度	岩石裂隙性的估计值		
		成块率/(块/m)	裂隙性指标/(个/m)	岩心采取率/%
1	完整的	1~5	≤0.5	100~70
2	弱裂隙性的	6~100	5~1.0	90~60
3	裂隙性的	11~30	1.01~2.0	80~50
4	强裂隙性的	31~50	2.01~3.0	70~40
5	完全破碎的	≥51	≥8.10	60~30或更少

3. 松散性和流散性

当岩石从岩体上分开后,岩石碎块的体积比天然埋藏下原有体积增大的性能称为松散性。松散性也是指岩石结构的致密程度,松散性强的岩石其颗粒之间的联结力弱,钻进时容易破碎,但孔壁易坍塌。

岩石的自由面有极力趋向水平的性能称流散性。在流散性强的岩石(如流砂)中钻进,孔壁极易陷落,淤塞钻孔,使钻进困难。

4. 稳定性

在岩体内钻出钻孔(有自由面)时,岩石不坍塌、不崩落的性能称为稳定性。岩石的稳定性可分为:稳定性良好、稳定性中等和稳定性差三类。在稳定性差的岩石中钻进,容易发生孔壁坍塌现象,必须采取保护孔壁措施。

第二节　岩石的力学性质

岩石在机械外力作用下所表现的性质,称为岩石的力学性质。与钻进有关的岩石的力学性质有强度、硬度、研磨性等。

一、强度

1. 岩石强度的概念

岩石的强度是指岩石在各种外力(拉伸、压缩、弯曲或剪切等)作用下,抵抗破碎的能力,常用的强度单位为 Pa。

坚硬岩石和塑性岩石(如黏土)的强度,主要取决于岩石的内联结力和内摩擦力;松散性岩石的强度主要取决于内摩擦力。

岩石的内联结力主要是矿物颗粒之间的相互作用力,或者是胶结物与胶结物之间的联结力,或者是矿物颗粒与胶结物之间的联结力。一般前者最大,后者最小。

岩石的内摩擦力是颗粒之间的原始接触状态即将被破坏而要产生位移时的摩擦阻力。岩石的内摩擦阻力构成岩石破碎的附加阻力,且随应力状态而变化。

2. 影响岩石强度的因素

影响岩石强度的因素基本上可分为两个方面:一种是自然因素,如岩石的矿物成分、结构及构造等;另一种是技术因素,如载荷作用的速度、形变的方式等。

自然因素包括:

(1)岩石的强度　岩石的强度在很大程度上取决于组成岩石的矿物成分。例如,石英是强度较大的造岩矿物,岩石中石英含量高,并且石英颗粒在岩石中联结成骨架时,则岩石的强度也高;而方解石和白云石等强度较小,因此碳酸盐类岩石中方解石含量增加,则岩石强度降低。岩石中胶结物所占的比例越大,胶结物对岩石强度的影响越大,而被胶结的矿物对岩石强度的影响越小。

(2)矿物颗粒　矿物颗粒的尺寸在相同矿物结构下,组成岩石的矿物颗粒直径对岩

石的强度也有很大影响。通常细粒岩石的抗压、抗拉强度都大于同一矿物组成的粗粒岩石。

(3)岩石密度与孔隙度　岩石的密度与孔隙度对岩石强度也有巨大影响。同一种岩石,其孔隙度增加,密度降低,则岩石强度也降低。另外,岩石强度随其埋藏深度的增加而增大。

(4)层理　岩石的层理对其强度的影响具有明显的方向性。垂直于层理方向的抗压强度最大,平行于层理方向的抗压强度最小,与层理方向呈某种角度方向的抗压强度介于两者之间。其原因是岩石层理面之间的联结力最薄弱,在沿平行于层理方向加压时,岩石点从层理面裂开。

(5)岩石的结构构造缺陷　岩石的节理孔洞、裂缝及颗粒交界等在岩石中会造成局部薄弱,在外载作用下会发生应力集中而超前破碎,使强度降低。

技术因素包括:

(1)受力条件岩石的抗压、抗拉、抗剪和抗弯强度有很大的差别。在单向应力状态下,岩石的抗压强度最大,而抗弯、抗剪和抗拉强度依次减小,其关系式为

抗压 > 抗弯 > 抗剪 > 抗拉

表 1-3 中以单向抗压强度为 100%,列出几种岩石在不同变形时相对强度极限的多种数据(仅供参考)。几种典型岩石的强度如表 1-4 所示。

表 1-3　不同变形时岩石的相对强度极限

岩石	相对硬度/%		
	抗弯	抗剪	抗拉
花岗岩	9	8	2 ~ 4
砂岩	10 ~ 12	2 ~ 6	2 ~ 5
石灰岩	15	8 ~ 10	4 ~ 10

表 1-4　几种典型岩石的强度

岩石	岩石的强度/MPa			岩石	岩石的强度/MPa		
	抗压(σc)	抗拉(σt)	抗剪(τs)		抗压(σc)	抗拉(σt)	抗剪(τs)
粗粒砂岩	142.0	5.14	—	白云岩	162.0	6.9	11.8
中粒砂岩	151.0	5.20	—	石灰岩	138.0	9.1	14.5
细粒砂岩	185.0	7.95	—	花岗岩	166.0	12.0	19.8
页　岩	14.0 ~ 61	0 1.7 ~ 8.0	—	正长岩	215.2	14.3	22.1
泥　岩	18.0	3.2	—	辉长岩	230.0	13.5	24.4
石　膏	17.0	1.9	—	石英岩	305.0	14.4	31.6
含膏灰岩	42.0	2.4	—	辉绿岩	343.0	13.4	34.7
安山岩	98.6	5.8	9.6				

(2)载荷速度　载荷速度是岩石强度与外载作用的速度,或者说与其内部应力增长速度有密切的关系。载荷速度越快,则岩石强度越高。

(3)介质的影响　介质对岩石强度的影响,主要由于岩石与周围介质之间分界面上发生的润湿与吸附作用所引起。介质影响的强烈程度,取决于介质中活性物质的吸附性,也就是介质性质与固体性质的接近程度。必须指出,介质对岩石性质的影响,在很大程度上取决于岩石中孔隙与裂缝的存在。

(4)岩样尺寸的影响　一般情况下,岩石强度试验值随岩样尺寸的增大而降低。为消除岩样线性尺寸的影响,做岩石抗压强度试验时,广泛采用5 cm×5 cm×5 cm 的试样,或采用长度等于直径的圆柱体试样。

二、硬度

1. 岩石硬度的概念

岩石的硬度是指岩石抵抗其他刚性物体压入的能力。岩石的硬度在本质上与强度,特别是与抗压强度有着密切的关系,但不能把岩石的单轴抗压强度作为其硬度的指标。

纯理论分析,岩石的抗压强度与压入硬度的关系为

$$P = (1 + 2\pi)$$

式中P—压入硬度;

　　σ—单轴抗压强度。

由上式可知,岩石的压入硬度是其单轴抗压强度的 7 倍。但实验证明,岩石的压入硬度与其单轴抗压强度之比在5—20 之间。一般地质上把矿物的硬度分为10 级,即摩氏硬度。因岩石是由各种矿物组成的,所以也可间接地用划分矿物硬度的办法来划分岩石。岩石的硬度在一定程度上,直接反映了破碎岩石的难易程度。岩石越硬,切削具越难切入岩石,钻进效率就越低,如燧石、石英岩、夕卡岩等就很硬,页岩、泥岩等就较软。表 1-5 列出了标准矿物的摩氏硬度。

表 1-5　标准矿物的魔氏硬度

测试方法	滑石	石膏	方解石	萤石	磷灰石	正长石	石英	黄玉	刚玉	金刚石
摩氏硬度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
显微硬度/MPa	2.5	290	1080	1860	5300	7750	11000	14700	22600	98100

2. 影响岩石硬度的因素

影响岩石硬度的因素与影响强度的因素很相似。但层理对硬度的影响正好与强度相反,垂直于层理方向的硬度值最小,而平行于层理方向的硬度值最大。

值得提出的是,水浸入岩石后,对岩石的硬度有一定的影响。水分子沿着矿物颗粒的交界面处浸入,减小了矿物颗粒间的联结力,使硬度和强度降低。

另外,岩石在各向压缩状态下,其压力愈大,则硬度亦大。岩石随温度的增高硬度逐渐降低。

三、研磨性

1. 岩石研磨性的概念

用切削具切削岩石时,它必然与岩石发生摩擦。在摩擦过程中,岩石磨损切削具的

能力称为岩石的研磨性或磨蚀性。通常是用切削具磨损的体积与所消耗的摩擦功之比来表示研磨性的大小,其单位为 m^3/J。

岩石研磨性的大小,将直接关系到用切削具制成的钻头的使用寿命以及切削具破碎岩石的钻进效率和钻探生产成本。岩石研磨性是选择碎岩工具,设计钻头,确定钻进规程参数和制定钻头消耗定额的依据之一。

在衡量岩石研磨性大小时,摩擦功的计算极为重要。切削具与岩石相对移动时的摩擦功为

$$A = F \cdot d$$

式中A—产生磨损的摩擦功,J;

F—摩擦力,N;d—两物体相对位移,m。

切削具对岩石进行体积破碎,要求切削具与岩石单位接触面积上的正压力不小于岩石的局部抗压入强度,可取摩擦力 F 为

$$F = \mu \cdot p \cdot S$$

式中μ—动摩擦系数;

p—岩石的局部抗压入强度,Pa;

s—岩石接触的摩擦面积,m^2。

因而摩擦功为

$$A = F = \mu \cdot p \cdot S \cdot d$$

2. 影响岩石研磨性的因素

影响岩石研磨性的因素有两个方面,即自然因素和技术因素。

(1)自然因素影响　岩石研磨性的自然因素主要是岩石的矿物成分和结构特征。岩石中造岩矿物的硬度、颗粒度、颗粒形状、密度、胶结物及胶结状况、岩石颗粒间的硬度差、所含石英及其他坚硬矿物的百分比等,对岩石研磨性都有明显的影响。矿物颗粒的硬度愈大,则磨损作用愈大;矿物颗粒度愈大,岩石表面的粗糙度愈大,则其研磨性愈强;矿物颗粒形状越带有棱角、越软硬相间、密度愈小,则岩石研磨性愈高;砂岩的胶结物强度降低,则其研磨性会提高。造岩矿物的硬度对岩石研磨性的影响如表 1-6 所示。

表 1-6　造岩矿物的硬度对岩石研磨性的影响

岩石	体积磨损功/(9.8×10^6 $m^3\cdot J^{-1}$)	单位功磨损体积/(1×10^{-7} $m^3\cdot J^{-1}$)
砂质页岩	20	0.5
含铁石英岩	6	1.5
长石砂岩	2	5.1
花岗岩	1.6	6.1
石英质砂岩	0.1	102

(2)技术因素影响　岩石研磨性的技术因素,也就是影响动摩擦系数的各种技术因素。

压力　实验证明当正压力未达到岩石局部抗压入硬度以前,岩石不产生体积破碎,

工具与岩石接触表面是以凹凸不平的点接触为主要形式;随着正压力增加,由于工具与岩石弹性变形的结果,使这些点接触的面积增大,接触状态更完善,增大了工具与岩石颗粒之间的黏滞力,因而摩擦系数增大。当压力超过岩石的局部抗压入硬度值时,岩石产生体积破碎,岩石的表面在工具的破碎作用下,不断地被更新,因而使摩擦系数略有降低,或者表现为常数,不再随着正压力的增加而改变。

在生产实践中,为了获得较高的生产率,并降低切削具的磨损,应采用大于岩石局部抗压入硬度的压力值。

相对运动速度　一般情况下,当相对运动速度较低时,随着运动速度的增加,动摩擦系数也增加;但当运动速度达到某一数值时,动摩擦系数就不再增加,反而减小。钻进时,动摩擦系数可由下式近似求得

$$\mu = \mu_0(1 + 0.122\ )/(1 + 0.06v)$$

式中μ—动摩擦系数;

μ_0—静摩擦系数;

v—工具与岩石的相对运动速度。

介质　介质能改变切削具和岩石间的摩擦特征。如果岩石表面干燥或湿润不好,则摩擦系数增大;用泥浆时,摩擦系数减小;有表面活性溶液或乳状液时,因有润滑作用而使摩擦系数更小。从表 1-7 所列数据,可看出介质对摩擦系数的影响。

温度对互相摩擦的物体的摩擦系数也有影响。当温度升高时,研磨性则增大。

表 1-7　介质对摩擦系数的影响

岩石	岩石表面摩擦系数		
	干燥	用水湿润	用泥浆湿润
泥质页岩	0.20 ~ 0.25	0.15 ~ 0.20	0.11 ~ 0.13
石灰岩	0.35 ~ 0.40	0.33 ~ 0.38	0.31 ~ 0.35
白云岩	0.38 ~ 0.42	0.36 ~ 0.48	0.34 ~ 0.38
胶结不强的尖角颗粒砂岩	0.32 ~ 0.42	0.27 ~ 0.40	0.25 ~ 0.35
胶结不强的圆角颗粒砂岩	0.22 ~ 0.34	0.20 ~ 0.30	0.17 ~ 0.25
硬质砂岩	0.43 ~ 0.48	0.43 ~ 0.45	0.40 ~ 0.43
石英岩	0.46 ~ 0.48	0.48 ~ 0.50	0.42 ~ 0.44
花岗岩	0.47 ~ 0.55	0.46 ~ 0.53	0.45 ~ 0.52
无水石膏	—	0.39 ~ 0.95	0.37 ~ 0.40

3. 岩石研磨性的分级

岩石的研磨性是反映岩石磨损切削具能力的重要指标。在钻探工作中,从钻头的设计制造到钻进工艺规程的调节控制,以及钻进效率和回次长度等,都会受到它的影响,并作为主要因素加以考虑。按研磨性对岩石进行适当的分级非常必要。

在生产实践中,根据感性概念把岩石划分为研磨性小与研磨性大的两类:研磨性小的岩石——石灰岩、白云岩、玄武岩、各种页岩、大理岩等。研磨性大的岩石——各种砂

岩、粗中粒花岗岩、各种硅化高的岩石等。另外,利用钢杆磨损研磨性测定法可以把岩石研磨性分成8级(如表1-8所示)。

表1-8 岩石研磨性等级

研磨性等级	研磨性程度	研磨性指标(a)/($\times10^3$kg)	代表岩石及矿物
1	极低	<5	石灰岩,大理岩,不含石英的软硫化矿(方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿),磷灰岩,岩盐,页岩
2	低	5~10	硫化矿及重晶石硫化矿,黏土,软的片岩(炭质、泥质、绿泥质、绿泥板状的)
3	中下	10~18	碧玉岩,角岩(含矿及不含矿的),石英硫化矿石,细粒岩浆岩,石英
4	中	18~30	石英及长石细粒砂岩,辉绿岩,粗粒黄铁矿,砷黄铁矿,脉石英,石英硫化矿石,细粒岩浆岩,硅化灰岩,碧玉铁质岩
5	中上	30~45	石英及长石中粗粒砂岩,斜长花岗岩,霞石正长岩,细粒花岗岩及闪长岩,玢岩,云英岩,辉长岩,片麻岩,夕卡岩(含矿及不含矿的),黄铁长英岩,滑石菱镁片岩
6	较高	45~65	花岗岩,闪长岩,花岗闪长岩,花岗正长岩,玢岩、霞石正长岩,角闪石斑岩,辉岩,二长岩,闪岩,石英及硅化灰岩。片麻岩
7	高	65~90	玢岩,闪长岩,花岗岩,花岗霞石正长岩
8	极高	>90	含刚玉岩石

四、岩石的可钻性

岩石的可钻性是在一定技术条件下钻进过程中反映岩石抵抗破碎能力的综合性指标。它取决于许多因素,主要的是岩石的物理力学性质、钻进方法和钻进技术参数等。通常是在相同的钻进方法和相同的钻进技术参数条件下,通过试验来确定岩石可钻性。

岩石可钻性分级在实际钻探生产中非常重要。它是合理选择钻进方法及相应的钻进工具和钻进规程的依据,也是制定钻探生产定额,编制钻探生产计划的依据;同时,也是评定钻探机台生产的客观依据。

岩石可钻性的划分是在地质勘探钻进工作中,经常用以下方法来划分岩石可钻性级别:

1. 刻划对比法

刻划对比法较粗略,但操作简便易行。具体指标如下:

(1)大拇指甲刻划 1 ~3 级的岩石矿物;

(2)铁刀刻划 3 ~4 级的岩石矿物;

(3)普通钢刀刻划 4 ~5 级的岩石矿物;

(4)锉刀刻划 5 ~6 级的岩石矿物;

(5)合金刀刻划 7 ~8 级的岩石矿物。

这里刻划对比标准与矿物刻划硬度对比标准相同,所列可钻性级别与后面介绍的 12 级可钻性分级有对应关系。

2. 按机械钻速分级

在规定的设备、工具和技术规范条件下进行现场实际钻进,以所得的纯钻进速度,作为岩石可钻性的分级指标称为机械钻速分级的方法。同时,考虑到由于岩石研磨性造成的钻进速度逐渐降低,使回次钻进长度缩短,故在分级指标中,一并列入回次长度值作为辅助性指标(如表 1-9 所示)。

表 1-9　岩石可钻性分级

岩石等级	岩石类别	代表性岩石	可钻性/$(m\cdot h^{-1})$	回次长度/m
1	松软松散的	次生土,壤土,硅藻土	7.50	2.80
2	松软松散的	黄土,黏土,冰	4.00	2.40
3	软的	风化变质的页岩,千枚岩,泥灰岩,褐煤,烟煤	2.45	2.00
4	较软的	页岩类,较致密泥灰岩,岩盐,火山凝灰岩	1.60	1.70
5	稍硬的	泥质板岩,细粒石灰岩,蛇纹岩,纯橄榄岩,无烟煤	1.15	1.50
6	中等硬度	微硅化石灰岩,千枚岩,石英云母片岩,辉长岩	0.82	1.30
7	中等硬度	硅质石灰岩,石英二长岩,含长石石英砂岩,角闪石斑岩,玢岩	0.57	1.10
8	硬的	夕卡岩,千枚岩,微风化的花岗岩	0.38	0.85
9	硬的	高硅化的石灰岩,粗粒的花岗岩,硅化凝灰岩	0.25	0.65
10	坚硬的	细粒花岗岩,花岗片麻岩,坚硬的石英伟晶岩	0.15	0.50
11	坚硬的	刚玉岩,石英岩,含铁矿碧玉岩	0.09	0.32
12	最坚硬的	未风化致密的石英岩,碧玉岩,燧石	0.045	0.16

显然,表中可钻性即为机械钻速。

机械钻速:指每小时纯钻进时间的进尺数,单位为 m/h。

回次长度(一次提钻长度):指每个回次钻进获得的进尺数,单位为 m。对软岩石的钻进,受一次岩心采取长度的限制;对硬岩石的钻进,受钻头工作寿命的限制。

3. 按岩石力学性质进行分级

(1)以"普氏系数(f)"分级　在矿山开采中,常用岩石的坚固性系数——"普氏系数(f)"来进行岩石的可钻性分级。

$$普氏系数(f) = \delta/1000$$

式中 δ—岩石抗压强度,MPa。

按普氏系数(*f*)的大小,将岩石分为 10 级(如表 1-10 所示)。

表 1-10　岩石按普氏系数(f)分级

级别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
坚固程度	最坚固的岩石	非常坚固的岩石	坚固岩石	比较坚固的岩石	中等坚固的岩石	比较软的岩石	软岩石	土状岩石	松散岩石	沙流层
普氏系数(f)	20~52	15~19	8~14	5~7	3~4	1.54~2	0.8~1.0	0.6	0.5	0.1~0.3

(2)按压入硬度分级 根据压入硬度的不同,将岩石分为 3 组,每组又分为 4 级。第 1 组为软岩石;第 2 组为中等硬度岩石;第 3 组为坚硬岩石。这种划分方法与可钻性 12 级分级法基本上相同(如表 1-11 所示)。

表 1-11　岩石按压入硬度分级

组别	第 1 组				第 2 组				第 3 组			
级别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
硬度(9.8×10^6Pa)	≤10	10~25	25~50	50~100	100~150	150~200	200~300	300~400	400–500	500~600	600–700	>700

(3)按摆球回弹次数(岩石动力硬度)分级 摆球硬度仪是我国地质科学院勘探技术研究所在 20 世纪 60 年代初期研制的,用以测定摆球回弹次数。方法比较科学,操作也较简便。表 1-12 为岩石按钢球回弹次数的可钻性分级。

常用的摆球硬度仪是 KJYJ—62 型摆球硬度仪,采用的钢球为 8210 轴承中的滚珠。试样为面 50 mm×60 mm 的岩心,两端磨平,光滑。

表 1-12　岩石按摆球回弹次数分级

岩石动力硬度(N)值	岩石可钻性	岩石动力硬度(N)值	岩石可钻性	岩石动力硬度(N)值	岩石可钻性
125 以上	12	75~84	8	30~44	4
3	105~124	11	65~74	7	15~29
95~104	10	55~64	6	14 以下	—
85~94	9	45~54	5	—	—

复习思考题

1. 什么是岩石块体密度、孔隙度?与破碎难易及孔壁稳定的关系。
2. 什么是岩石强度、硬度、研磨性?与破碎难易的关系。
3. 岩石强度包括哪些指标内容?
4. 分析影响岩石强度的因素,影响岩石硬度的因素,影响岩石研磨性的因素。

第二章　设备安装与开孔

钻探设备的安装与开孔是钻探生产中的第一步工作，对保证钻孔的顺利完成有重要意义。

第一节　设备的安装

一、修筑地盘

为了保证地盘质量和钻探施工方便，应根据以下原则来选择和平整地盘：①地盘的位置由设计位置确定；斜孔钻进时，钻孔的方位决定钻场的布置走向；②地面平整，且有一定的抗压强度；地盘面积应根据不同钻机类型来确定；③在山坡修地盘时，靠山坡一面的坡度，对于坚硬稳固岩石，一般不超过60°～80°；对于松软岩石坡度应小于45°；④填方面积不得超过地盘面积的四分之一；填方必须夯实；⑤需进行凿岩爆破时，应严格执行《爆破安全规程》。

二、修建地基

修建地基的主要目的是为了能承受钻探设备等荷重。为防止地盘塌落或倾斜，选择地基类型时，应考虑地表情况、钻探设备、钻孔深浅等因素。

常见的地基类型有以下几种：

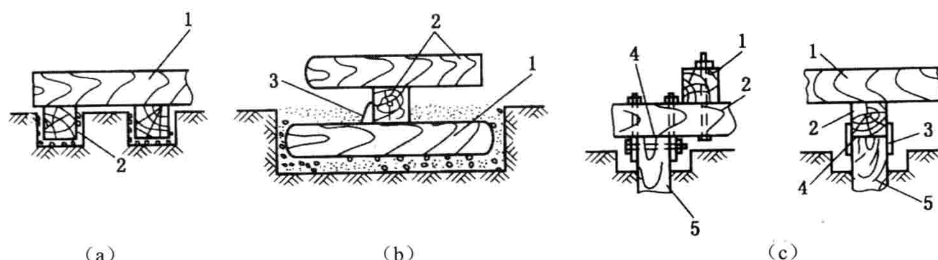
(1)浅槽地基　基台木槽底垫石、土等，夯实再放入基台木，这种地基适用较实的土壤地面，如图2-1(a)所示。

(2)卧枕地基　在较松软或填方部分不够坚实时使用卧枕地基。基台木一般为200 mm×200 mm×1500 mm，如图2-1(b)所示。

(3)竖桩地基　竖桩地基适用于承压性较差的潮湿地面或者山坡地基的填方一侧，如图2-1(c)所示。

(4)深坑地基　深坑地基一般用于较坚实的土壤上，做柴油机底的基础。

(5)混凝土地基　表土软硬不均或钻进深孔时采用混凝土地基。混凝土基座质量为机器质量的2～3倍。



a. 浅槽地基:1 - 基台木;2 - 基台枕

b—卧枕地基:1 - 卧枕地基;2 - 上、下基台木;3 - 扒

c - 竖桩基地:1 - 上基台木;2 - 下基台木;3 - 扒钉;4 - 涂沥青或柏油处;5 - 竖桩

图 2-1　地基的形式

三、钻塔安装

在按孔位布置好的基台上将使用的钻塔竖起称为钻塔安装,其安装方法可分为:整体安装和分节安装。

(1)整体安装　整体安装一般适用"A"字形钻塔和三脚钻塔。在地形平坦广阔处四脚钻塔安装也可采用此法安装。

(2)分节安装　分节安装多用于四脚钻塔的安装。它是在建好的基台上用人力自下而上逐层安装而成。分节安装钻塔如图 2-2 所示。

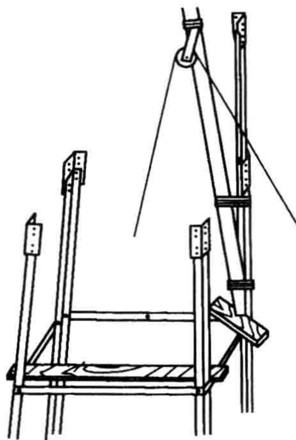
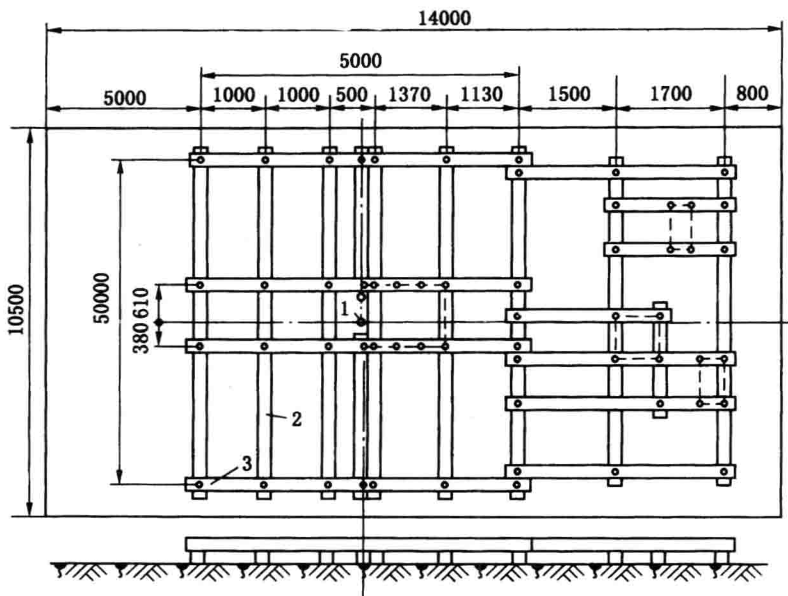


图 2-2　分节安装钻塔示意图

四、机械安装

机械安装是根据不同的机型,按照要求依次将钻机、中间轴、动力机、水泵等用螺杆固定在基台上。钻机安装前,首先根据确定的孔位,测量好钻机立轴中心与机座前排孔距离,方可确定钻机安放位置;然后,布置好基台木。图 2-3 为 XB—1000A 型钻机基台木布置情况。不同的钻机其布置方法不同。在基台上钻好相应位置的固定螺孔,以便将钻机与基台用螺杆固定好。



1 – 钻机立轴中心;2 – 下层横枕木;3 – 上层顺枕木

图 2-3　XB—1000A 型钻机基台木布置图

动力机有电动机和柴油机。柴油机震动力大,在深孔钻进时,可采用深埋枕填石块加固或用水泥地基安装。水泵安装必须考虑动力,如果单独采用动力机传动时,安装较为灵活;若采用同一动力机传动时,最好安装在柴油机的后方,这样操作比较方便。附属设备的安装包括循环系统、场房及安全设施三个方面。

第二节　开孔工作

一、钻孔结构及其选择

钻孔结构是由孔口、孔深、孔底、孔壁等要素组成(如图 2-4 所示)。

钻孔结构的变化主要是指钻孔的开孔至孔底,口径由大变小的变化。钻孔结构选择应以岩石的物理性质、覆盖层厚度、开孔地层情况、水文地质条件、钻孔深度、终孔直径以及钻进方法和钻探用途为依据。

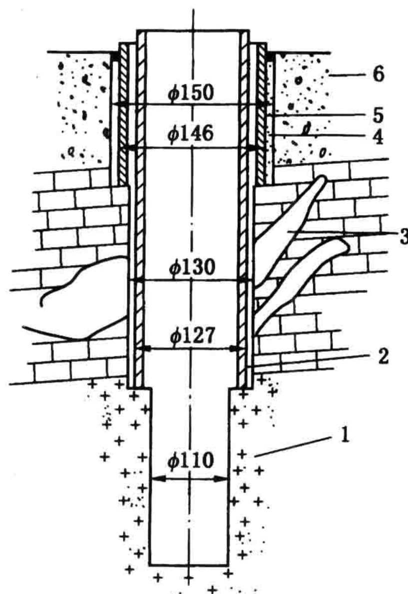
开孔钻穿覆盖层或风化带,钻入基岩 3 ~ 5 m 下入孔口管。为稳定地层,力争少换径,尽可能一径或二径到底。终孔口径根据勘探目的确定。

二、开孔

开孔前必须准备好所有钻进用器材,对钻探设备及安装质量进行全面检查,制订钻孔的施工方案和技术措施。

开钻钻进是地表到达基岩的一段钻进过程。开孔要防止孔斜,必要时可以在孔口挖坑下入定向管。开孔钻进常遇第四纪松散层和基岩风化壳,孔壁不稳定,易发生坍塌掉

块和冲洗液漏失等现象，可能引起孔内事故。因此，开孔钻进时应注意护壁。钻进过程应该轻压慢转。



1－硬盘；2－套管；3－裂隙；4－填料；5－孔口管；6－砂砾石

图 2-4　钻孔结构

复习思考题

1. 修建地基类型有哪些？
2. 机械安装的顺序怎样？
3. 简述钻孔结构及其选择原则。

第三章　硬质合金钻进

第一节　概　　述

利用镶焊在钻头体上的硬质合金切削具,作为破碎岩石的工具,这种钻进方法通称为硬质合金钻进,它是以碎岩切削研磨材料而命名的。这类命名方式还有:金刚石钻进、钢粒钻进。我国煤田地质钻探中硬质合金钻进占总工程量的80%左右。

硬质合金钻进具有以下特点:

(1)硬质合金镶焊在钻头体上比较坚固,因而可应用于任意方向的钻孔。孔径、孔深可按设计任意选择。

(2)根据不同岩性,可以灵活改变钻头结构参数,以便在不同的岩层中都取得优良效果。

(3)操作简单方便,钻进规程参数容易控制,孔内事故较少。

(4)比较容易保证钻孔质量,岩心采取率较高,孔斜较小。有利于控制煤层顶底板煤心的采取。

但是,由于硬质合金硬度有限,强度和耐磨性尚显不足,与金刚石和钻粒钻进相比,硬质合金不能钻进坚硬、强研磨性岩石,主要用于钻进1~7级及部分8级岩石。

第二节　硬质合金钻进的碎岩过程与磨损

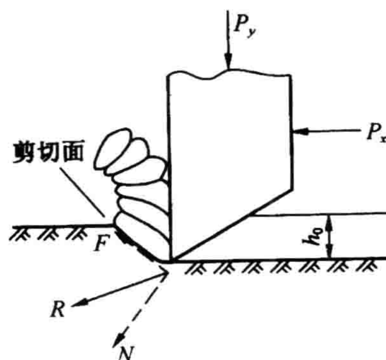
一、井底碎岩过程

在硬质合金钻进过程中,钻头体上的硬质合金切削具主要受到轴向压力 P_y 和水平回转力 P_x 的作用。对于塑脆性不同的岩石,其孔底碎岩过程有所不同。

1. 塑性岩石中的碎岩过程

钻头上切削具切入岩石的必要条件是:切削具与岩石接触面上的单位压力必须大于或等于岩石在该状态的压入硬度。对于塑性岩石而言,切入深度 h_1 主要决定于在轴向载荷 P_y 力作用下,切削具静切入岩石深度 h_0 的大小。通常切削具切入深度 h_0 与轴向压力 P_y 成正比。当切削具有一定的切入深度,并在水平力的作用下做回转运动时,切削具前

面的岩石在切向分力 F 的作用下不断塑性流动，并自由滑移（如图 3-1 所示）。这种现象即切削作用。切削过程基本平稳，水平力 P_x 大体不变，切削具在岩石上形成的切槽与刃宽基本吻合。



P_x – 水平力；P_y – 轴向压力；h_0 – 切入深度；R – 切向力；F、N – 切向分力

图 3-1　切削具在双向力作用下切入塑性岩石

2. 塑脆性岩石中的碎岩过程

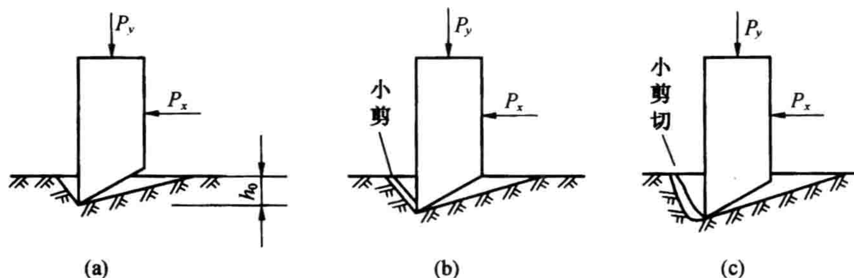
在实际生产中，硬质合金回转钻进主要对象是塑脆性岩石。在塑脆性岩石中，岩石破碎大体分为 3 个过程：

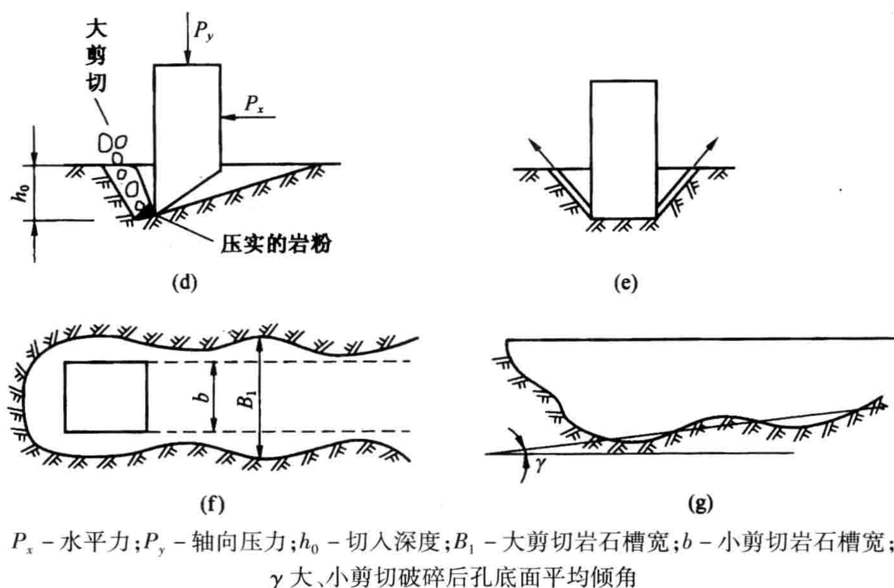
(1) 切削具在双向力作用下切入岩石，刃前岩石沿剪切面破碎后，P_x 力减小，继续前移，碰撞刃前岩石，如图 3-2(a) 所示。

(2) 切削具刃前接触岩石的部分面积很小，对前方岩石产生较大的挤压力，压碎刃前的岩石，随着 B 力的增大，使岩石产生小的剪切破碎，如图 3-2(b) 所示。继续向前推进，可能重复产生若干次小的剪切体，向自由面崩出，如图 3-2(c) 所示。

(3) 当切削具前端接触岩石的面积较大时，前进受阻。一方面，切削具继续挤压前方的岩石（部分被压成粉状）；另一方面，P_x 急剧增大，当 P_x 达到极限值时，迫使岩石沿剪切面产生大剪切破碎，并在刃尖前留下一些被压实的岩粉，然后 P_x 突然减小，如图 3-2(d) 所示。

切削具不断向前推进，上述推进过程将重复出现形成循环。在每次循环中，切削具两侧岩石也会和刃前岩石一样，分别产生一组相近似的小剪切体与大剪切体，使切槽断面近似梯形，如图 3-2(e) 所示。因此孔底〔如图 3-2(g) 所示〕和切槽边缘〔如图 3-2(f) 所示〕都是粗糙不平、有规律地变化着。



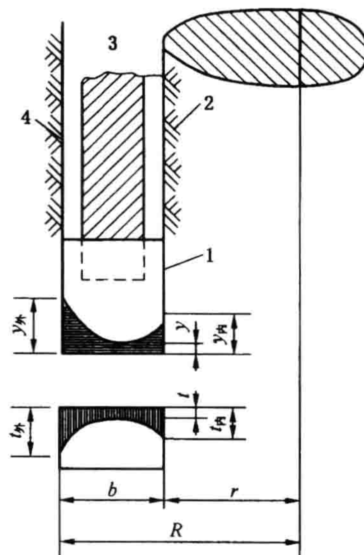


P_x – 水平力；P_y – 轴向压力；h_0 – 切入深度；B_1 – 大剪切岩石槽宽；b – 小剪切岩石槽宽；γ 大、小剪切破碎后孔底面平均倾角

图 3-2 切削具破碎塑脆性岩石的过程

二、切削具的磨损

在硬质合金钻进过程中，切削具在井底破碎的同时，切削具本身要被岩石磨损。在实际的钻进过程中，切削具的不同部位磨损程度有很大差异，切削具出刃的内、外磨损量是不均匀的（如图 3-3 所示）。切削刃的中部磨损尚不严重，但内、外侧已磨钝，切削具的底端被磨成圆弧状，刃前缘和后缘磨损大些。



1 – 切削具；2 – 岩心；3 – 钻头体；4 – 井壁；y – 切削刃磨损高度；$y_内$ – 切削刃内侧磨损高度；$y_外$ – 切削刃外侧磨损高度；t – 刃端磨损高度；$t_内$ – 刃端内侧磨损高度；$t_外$ – 刃端外侧磨损高度；b – 环槽宽度（切削槽宽）；r – 环槽内径；R – 环槽外径

图 3-3 切削刃的实际磨损情况

随着切削具的磨损，与岩石接触面积加大；因而，引起单位面积上的比压下降，机械钻速减小。

第三节　硬质合金钻头

一、取心式钻头

取心式硬质合金钻头根据钻头结构和钻进性质不同分磨锐式钻头和自磨式钻头。

1. 磨锐式硬质合金钻头

磨锐式钻头磨钝后，可以重新磨锐。这里介绍几种常见的硬质合金钻头。

(1)肋骨式钻头　肋骨式钻头主要用来钻进遇水膨胀、塑性大的软岩层。图3-4为阶梯高肋骨钻头，适用于2～4级泥岩、泥质岩、砂质泥岩、炭质泥岩、粉砂岩及黏土层等。

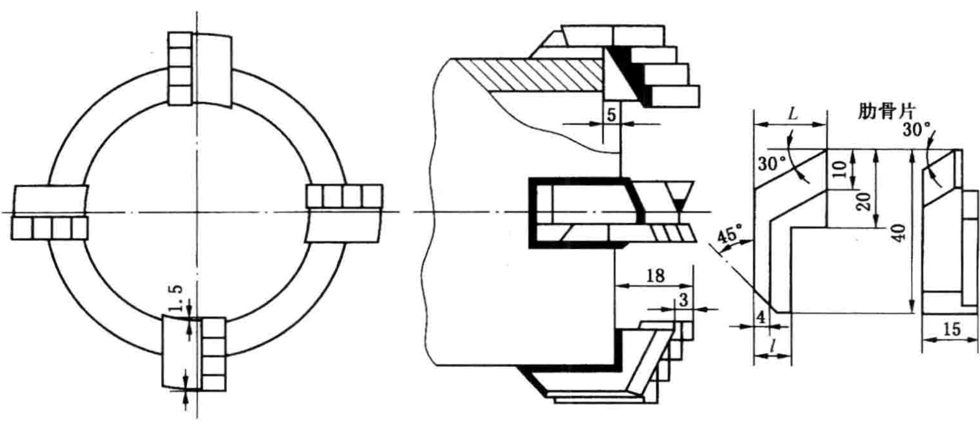


图3-4　阶梯高肋骨钻头

(2)燕尾补强钻头　该钻头的特点是每组切削具中单粒合金的底出刃较双粒合金的底出刃突出，单粒进行掏槽，双粒呈燕尾形对岩石进行扩槽，钻头外镶有补强合金，能有效地保持钻头外径，延长钻头使用寿命(如图3-5所示)。该钻头适用4～6级砂质泥岩、粗砂岩和砂岩等地层。

(3)品字形钻头　此种钻头每组3颗硬质合金切削具呈品字排布(如图3-6所示)。中间合金底出刃大，起掏槽作用，两边合金起扩大自由面作用，适用于4～6级中硬岩层，如石灰岩、大理岩和粗砂岩等。

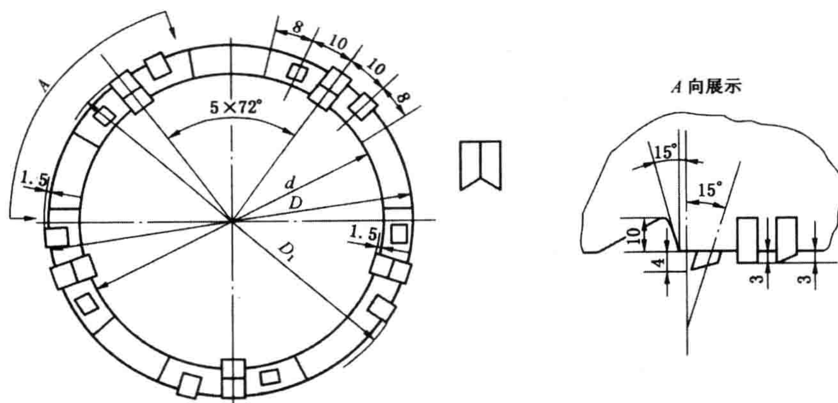
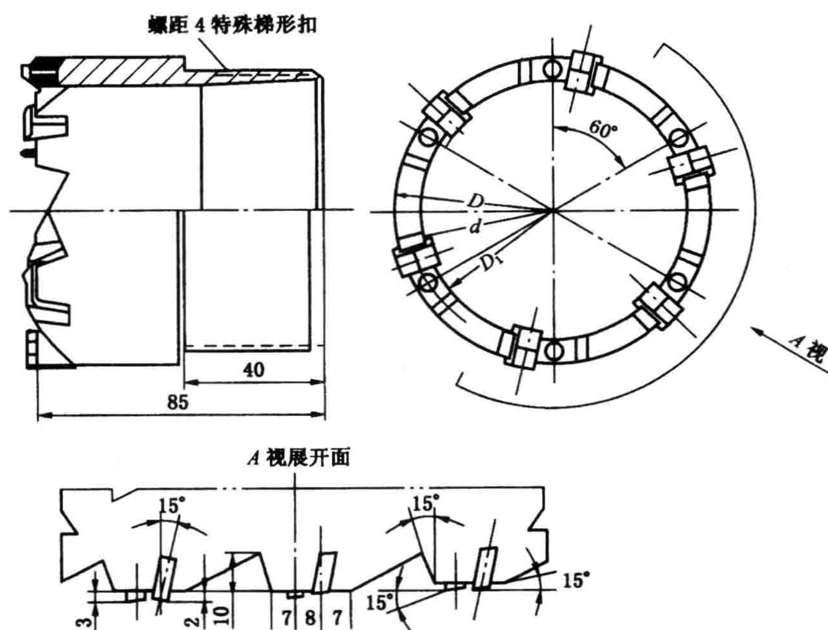


图 3-5　燕尾补强钻头



d、D_1、D－钻头内、中、外径

图 3-6　品字形钻头

（4）单粒负斜镶钻头　该钻头采用八角柱状合金切削具，钻头的特点是切削具呈负斜镶，镶焊角为－10°，切削具能承受较大的轴向力，不易崩刃、磨损慢（如图 3-7 所示）。该钻头适用于钻进 5～6 级和部分 7 级的硅质砂岩。尤其是对于研磨性较大，非均质的或破碎和裂隙发育的岩层有较好的钻进效果。

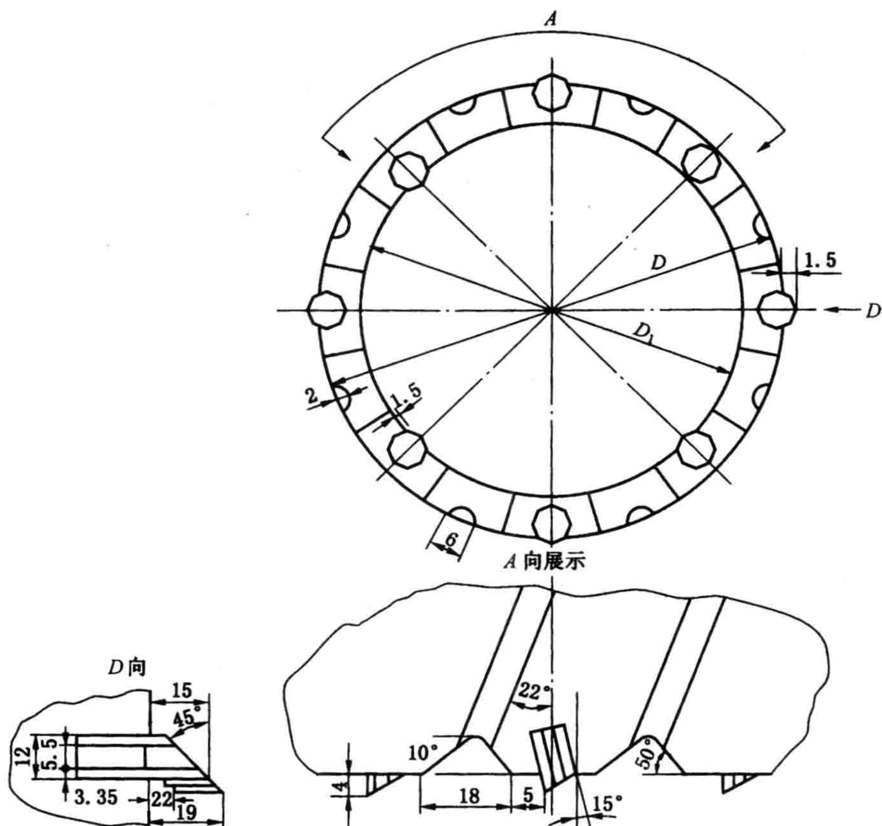


图 3-7　单粒负斜镶钻头

2. 自磨式硬质合金钻头

自磨式钻头选用小断面薄片状或针状切削具，在钻进中磨损后切削具与岩石接触面积保持一定，即切削具不会变钝。

(1)胎块针状自磨式钻头　如图 3-8 所示为胎块针状自磨式钻头。胎块是预制品，可以根据需要把它镶焊在钻头体上。该钻头适宜在 6 ~ 7 级、部分 8 级岩层中钻进。

(2)排状硬质合金自磨式钻头　如图 3-9 所示为排状硬质合金自磨式钻头。它的特点是切削具刃尖超前呈折线(菱形排状)，有利于破岩。该钻头适用于钻进 5 ~ 7 级均质致密的页岩、砂岩、灰岩类。

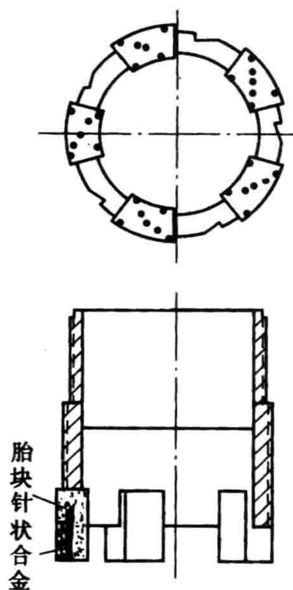


图 3-8　胎块针状自磨式钻头

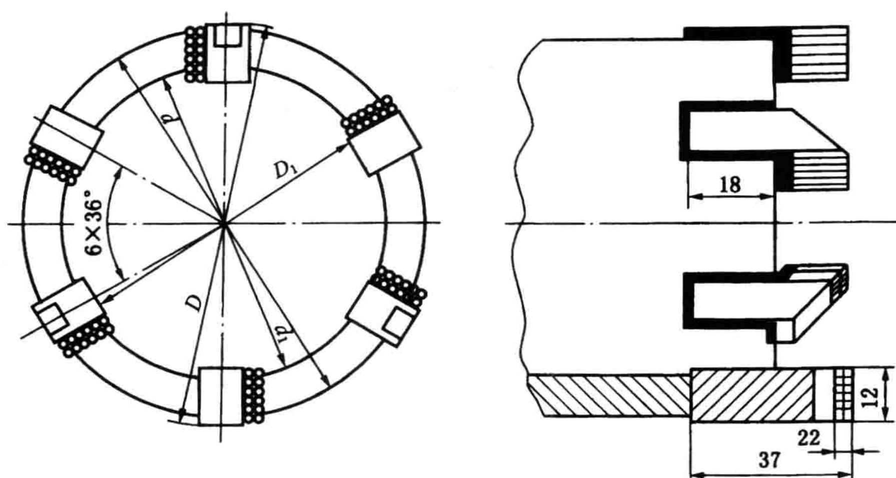
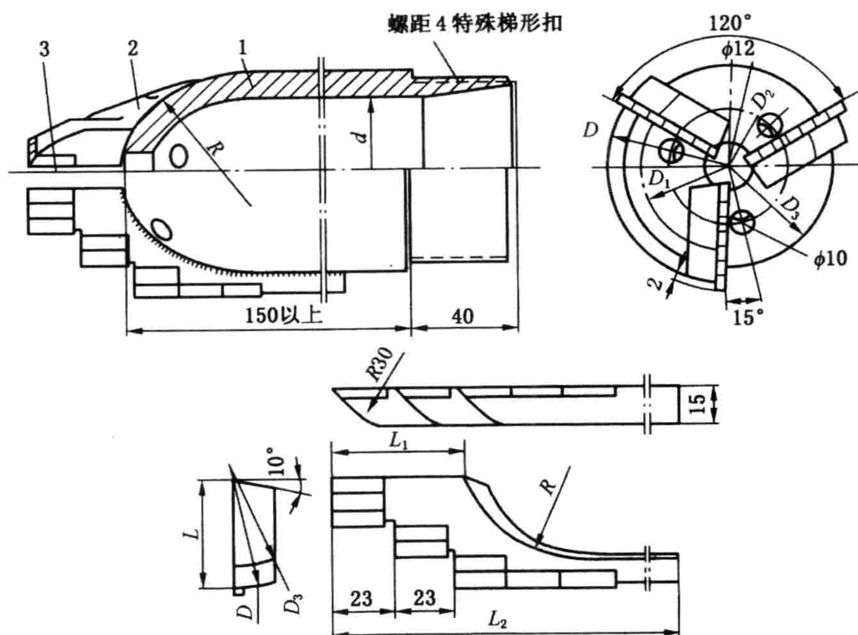


图 3-9 排状硬质合金自磨式钻头

二、全面钻进钻头

在某些第四纪覆盖层或已探明的非煤系地层中钻进常不需要采取岩心，采用全面钻进可以提高钻进效率。下面介绍目前煤炭系统常用的几种全面钻进钻头。

(1)三翼刮刀全面钻头　该钻头翼片底后面可分为二阶梯式或三阶梯式，对井底岩石进行阶梯式破碎（如图 3-10 所示）。该钻头适用于钻进 3～5 级岩层，对软硬互层的岩层更适用。



1－钻头体；2－翼片；3－硬质合金切削具

图 3-10 翼片全面钻头

(2)矛式全面钻头　此种钻头有两个螺旋式翼片,底出刃较高(如图3-11所示)。钻进软岩层时,成螺旋状钻进,上部有两片保径副翼片,冲洗液成螺旋状上升,井底较干净,效率较高;缺点是对软硬岩层适应性不强,易孔斜。该钻头适用1~3级软岩,如表土、黏土、粉砂岩、泥岩等。

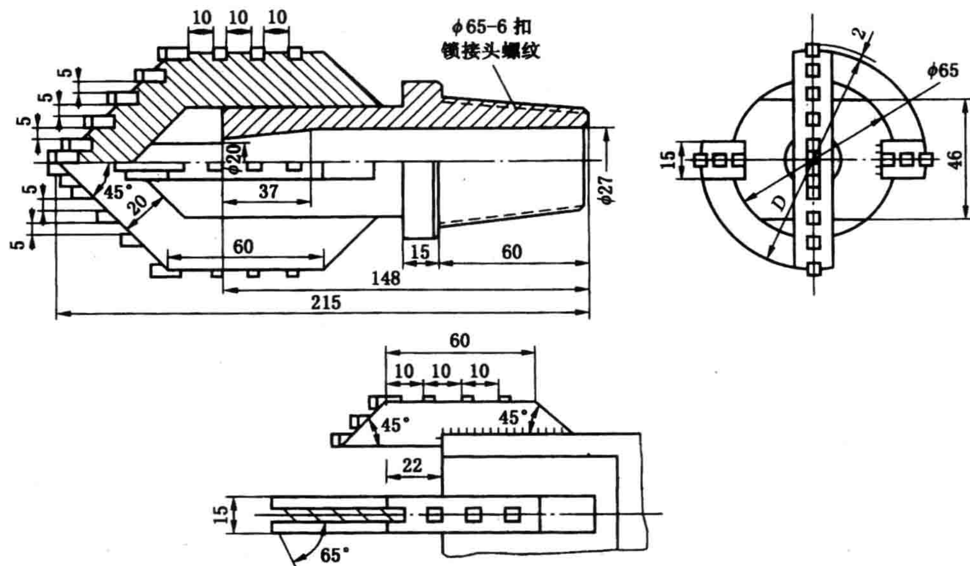


图3-11　矛式全面钻头

第四节　硬质合金钻进规程

硬质合金钻进规程参数主要包括钻压、转速和冲洗液量等内容。规程参数直接关系着钻探的成本、效率和质量。必须根据地质条件和技术条件选择合理规程参数。磨锐式钻头在生产中应用较为广泛,这里主要介绍规程中有关磨锐钻头部分。

一、钻压

钻压也称为轴向压力,表示整个钻头受的载荷。每颗切削具上的钻压称为单位钻压。单位钻压P必须满足切削具切入岩石呈体积破碎。切削具的形状不同,岩石性质不同,单位切削具上的钻压也不同。钻压推荐参考值如表3-1所示。

表3-1　钻压推荐值表

岩石性质	切削具类型	加在每颗切削具上的压力(P)/N
软的、塑性的1~3级岩石	片状合金	490—580
中硬的、均质的4~6级岩石	柱状合金	690—1180
硬的、致密的7~8级岩石	柱状合金	880—1470
硬的、研磨性的6~8级岩石	针状合金胎块	1500—2000/块

硬质合金钻进的轴向压力可以按下式计算：

$$P = P0 \cdot m$$

式中P—加在钻头的轴向压力，N；

P_0—每颗切削具应施加的压力，N；

m—钻头底面切削具数目。

在实际施工过程中，应根据具体情况，考虑各方面的因素确定钻压。钻进松软岩石时，冲洗液量一定，钻压选小一点；岩粉过多，易造成堵水、糊钻；钻进裂隙性岩石，切削具容易崩刃，钻压一般比钻进正常岩石降低 20% ~30%；钻进倾角大的岩层，适当减小压力，防止孔斜；若硬质合金强度较低，刃尖角较小，也要减小钻压。

二、转速

钻头的转速指钻头每分钟的转数。在钻进中常用钻头圆周线速度来衡量。转速与线速度的关系为

$$v = \pi Dn/6000$$

式中D—钻头直径，mm；

n—钻头转速，r/min；

v—钻头圆周线速度，m/s。

在不同的岩石中钻进，转速对钻速的影响不同。在黏土类岩石中，钻速几乎随转速成正比增长；在坚硬、高研磨性的岩石中，钻速随转速增加而增大；若超过极限转速，钻头继续增加转速时，将导致钻速下降，其主要原因是转速过快不利裂纹充分发展，钻头磨损快；而在中等硬度、研磨性较小的岩石中，转速与钻速的关系则介于前两者之间。磨锐式钻头的圆周线速度推荐值如表 3-2 所示。

表 3-2　磨锐式钻头圆周线速度推荐值表

岩石性质	钻头圆周线速度/($m \cdot S^{-1}$)	不同直径钻头的转数/($r \cdot min^{-1}$)				
		150	130	110	91	75
研磨性小的软岩	1.2 ~ 1.4	150 ~ 180	180 ~ 210	210 ~ 250	250 ~ 300	300350
稍有研磨性的中硬岩石	0.9 ~ 1.2	100 ~ 120	120 ~ 150	150 ~ 200	200—250	250300
研磨性的、硬的裂隙岩石	0.6 ~ 0.8	80 ~ 100	100 ~ 120	120 ~ 140	140 ~ 160	160 ~ 180

在裂隙发育的岩石中钻进，由于孔底不均，为防止过早崩刃，要适当降低钻头转速。此外，转速还受到钻孔深度、钻探设备和钻具强度等因素的限制。

三、冲洗液量

在钻探工作中，将送入井内的冲洗液的流量称为冲洗液量。没有泄漏时，冲洗液量即为水泵的泵量。冲洗液的功能是及时地排除岩粉，减少重复破碎，冷却切削具，防止刃端产生的热磨损，润滑钻具和保护孔壁。其中排除岩粉所需泵量最大，是选择泵量的主要依据。一般说来，冲洗液量大，携带岩粉能力强，冷却效果好。但冲洗液量太大，将产生一定的聚离力来抵消部分轴向压力，对孔壁和岩心的冲刷作用也加强。冲洗液量按下式计算：

$$Q = \pi/4 \cdot m \cdot (D^2 - d^2) v_1$$

式中Q—总泵量,即送入井中的冲洗液量,L/min;

D—钻孔和套管的直径,dm;

d—钻杆外径,dm;

m—孔壁不规整系数,取1.03~1.1;

v_1—冲洗液在外环状空间携带岩粉所需要的上返速度,dm/s。

冲洗液量推荐值如表3-3所示。

表3-3 冲洗液量推荐值

单位:L/min

钻杆直径/mm	Φ50			Φ42		冲洗液上升流速/($dm \cdot S^{-1}$)
钻头直径/mm	150	130	110	91	75	
软的岩石	200~250	180~200	140~180	100~120	60~80	3~4
中硬、硬的及研磨性岩石	180~200	140~180	100~140	80~100	40~60	2~3

四、钻压、转速、泵量的配合

在钻进过程中,钻压、转速和冲洗液量应相互配合才能获得最优的破岩效果。钻进软、研磨性小的岩石,切削具易切入,应尽量做到及时排粉,延长钻头寿命;因而,应取高转速、小钻压、大泵量的参数配合;钻进研磨性较高的中硬及部分硬岩石,为保持较高的钻速,防止切削具过早磨损,应采用大钻压、低转速、中等泵量的参数配合。介于前两者之间的中等研磨性的中软岩石,则取两者参数配合的中间状态。一般来说,钻进4~5级以下的岩层,以高转速、大泵量为主;钻进5~6级及其以上的岩层,以较大的钻压为主。

五、自磨式钻头钻进规程的特点

自磨式钻头切削具与岩石接触面积恒定,钻速基本稳定;其破岩过程以微剪切与磨削为主,要求切削具能正常出刃等。一般常用于6~7级中硬及部分中硬以上岩层。在煤田钻进中常与金刚石钻头分层钻进。自磨式钻头其钻进规程的选择应适应以下特点。

1. 钻压

自磨式钻头除了有切削具,还有支撑体或胎体,接触面积大;因此总的钻压应大于磨锐式钻头。以胎块式针状硬质合金钻头为例,其钻压一般应比磨锐式钻头大20%,对每块合金钻压取1500~2000 N较理想。

2. 转速

自磨式钻头是依靠微出露的切削具以微剪切与磨削方式破岩的,所以在一定范围内,提高单位时间的破岩次数可提高钻进效率。实践证明,对针状自磨式钻头采取较高转速(线速度为0.6~1.2 m/s),是提高钻进速度的重要措施;在钻进深孔时,应适当降低线速度。

3. 泵量

自磨式钻头破岩产生的岩粉较细,所需泵量可以少一些,但由于钻头钢体上无水口,

胎块之间过水断面较大，为了充分冲净孔底、冷却钻头和减少重复破碎，建议采用大于磨锐式钻头的泵量，一般以适量冲洗胎体材料为宜。随着胎块的磨耗，通水断面减少，应适当调小泵量以防憋泵。

第五节 硬质合金钻进的操作及注意事项

1. 合理选择钻头类型及钻进规程

硬质合金钻头适用于在软岩、中硬岩层中钻进，不适合钻进 8 级以上的坚硬岩层。钻进时，应根据岩石性质合理选择高效钻头和最优钻进规程。为便于选择，现将适宜硬质合金钻进的岩石，归纳为以下四类：

第一类为松软的岩石（1 ~ 2 级）：如黄土、黏土等第四纪地层及泥炭、矽藻土等；

第二类为较软的岩石（3 ~ 4 级）：如泥岩、泥质岩、页岩、大理岩、白云岩等；

第三类为较硬的岩石或称中等硬度岩石（5 ~ 6 级）：如钙质砂岩、石灰岩、蛇纹岩、橄榄岩、细大理岩、白云岩等；

第四类为硬岩（7 级及部分 8 级）：如辉长岩、玄武岩、结晶灰岩、千枚岩、板岩、角闪岩以及裂隙性岩石等。

硬质合金钻进第一类岩石时，破碎岩石容易，岩石研磨性小，钻进效率高；但孔内产生的岩粉多、岩粉颗粒大，有时孔壁易坍塌。此类岩石大都是塑性岩层，有黏性，钻进时易产生糊钻、憋水、缩径等现象。钻进时要解决的关键问题是憋水，糊钻，保持孔内清洁，并保护孔壁等，为此，最好选用外出刃大的、排水通畅的钻头，如螺旋肋骨、内外肋骨或薄片式合金钻头进行钻进。应选用高转速、大泵量、较小钻压的钻进规程参数。如孔壁易坍塌，则应创造条件，力争快速通过，以缩短孔壁暴露时间。

硬质合金钻进第二类岩石时，大致同第一类，只是在钻进砂岩时岩石有一定的研磨性，钻进时要解决的关键问题也大致同第一类。为此，在钻进泥质类岩石时，应选用切入深度大的或出刃大的肋骨式钻头；钻进砂质类岩石时，应选用阶梯肋骨钻头或普通式硬质合金钻头，钻进时所选用的规程参数应较第一类稍大。

硬质合金钻进第三类岩石时，钻进效率不高，岩石有一定的研磨性。钻进时要解决的关键问题是如何提高钻进效率。所以应选用各种阶梯式破碎钻头或各种小切削具钻头，如品字形钻头、三八式钻头等。钻进时应采用“两大一快”（钻压大、泵量大、转速快）的规程参数。

硬质合金钻进第四类岩石时，其特点是岩石坚硬，研磨性大，合金磨损严重，钻进效率低。钻进时要解决的关键问题是在延长钻头寿命的情况下提高效率，如岩石有硬度不均和裂隙时，还应注意合金的崩刃问题。在这一类岩层钻进时，应选用大八角、负前角硬质合金钻头或选用自磨式硬质合金钻头。钻进规程参数主要是加大钻压，并适当降低转速。对钻具情况应作具体分析，钻进时应根据不同的岩石性质，选出或设计出适合本地区特点的钻头结构，以提高钻进效率和钻进质量。

2. 严格遵守操作规程

(1)严格检查钻头的镶焊质量,认真做好钻头分组排队,轮换修磨使用,以保孔径一致。排队使用的次序,应先用外径大内径小的钻头,后用外径小内径大的钻头,以减少更换钻头后的扫孔、修磨岩心的时间。

(2)必须保持孔底清洁孔内残留岩心在0.5 m以上或有脱落岩心时,不得下入新钻头。孔底有崩落碎合金时,或由钢粒改为合金钻进时,必须将碎合金或钢粒捞尽磨灭后,才能下入合金钻头钻进。

(3)新钻头下入孔底开始钻进时,应采用轻压、慢转、大泵量,缓慢地扫孔到底,避免发生合金崩刃、岩心堵塞,影响整个回次的钻进效率。

(4)扫孔到底钻进3~5 min后,逐渐增加压力和转速,达到正常需要数值,以防合金崩刃;在压力不足的情况下钻进硬岩时,严禁采用单纯加快转速的做法,以免合金过早磨损。正常钻进或扫孔到底后,开始钻进时应使钻具呈减压状态开车,以防发生钻杆折断事故的发生。

(5)正常钻进时,应保持压力均匀,不得无故提动钻具,以免造成合金崩刃、岩心折断堵塞;发现孔内有异常,如糊钻、憋水、岩心堵塞或回转阻力加大等,应立即处理。处理无效时,须立即提钻。

(6)孔底遇有非均质、裂隙发育的岩石时,应适当降低压力和转速,以防合金崩刃。

(7)在松软、塑性地层使用肋骨钻头或刮刃钻头钻进时,为消除孔壁上的螺旋结构或缩径现象,每钻进一段后,应及时修正孔壁。

(8)在钻进过程中,如遇采心困难的岩(矿)层,如岩(矿)心易被冲毁、磨耗等,应合理掌握回次长度,以保证岩(矿)心采取率。严禁贪图进尺,降低岩(矿)心采取率和使钻头磨损过多,孔径缩小而增加下一回次的扫孔时间。

(9)采取岩心时,严禁使用钢粒作卡料。采心时不要猛墩钻具,以免损坏合金。取心提钻时要稳,防止岩心脱落。退心时,不要用大锤直接敲打钻头。拧卸钻头时,要防止管钳夹伤合金或夹扁钻头。

(10)每次提钻后,要观察钻头磨损程度和岩心状况,以便判断孔内有无异常,岩心有无变化,以确定下一回次钻进技术参数。

3. 合理掌握回次进尺时间

用人工磨锐式合金钻头钻进时,随着钻进时间的增长,切削具逐渐被磨钝,因而机械钻速也就随钻进时间的增长而降低。在浅孔时,升降钻具时间少,机械钻速降低到一定程度,就应提钻更换钻头;在深孔时,升降钻具时间长,钻头稍一磨损就提钻更换钻头是不经济的;但是钻头已磨损,机械钻速已明显下降,不提钻也是不合理的。为了提高回次进尺效率,减少升降钻具时间,应合理掌握回次进尺时间,使回次钻速达到最优值。

复习思考题

1. 什么是硬质合金的钻进?

2. 简述硬质合金钻进的基本过程。
3. 简述硬质合金破碎岩石原理。
4. 试说明硬质合金分类及其特点。
5. 试说明硬质合金钻进规程的分类。

第四章　金刚石钻进

第一节　概　　述

一、金刚石的性质

金刚石是目前矿物中硬度最大的一种。金刚石按成因可分为天然和人造两大类。天然金刚石按品种和用途的不同分为 9 个等级。地质钻探、建材工具所用金刚石列为第 9 级，一般为浑圆形和碎粒金刚石。人造金刚石分单晶和聚晶两种。单晶为人工合成的自然单个晶粒；聚晶是由许多十分细小的金刚石微粒经过再次人工聚合形成大颗粒的多晶金刚石。本书只重点介绍钻探用金刚石。

1. 物理性质

(1)硬度　金刚石的摩氏硬度为 10 级。金刚石的压痕硬度大约是碳化钨的 3.7 倍、刚玉的 4.4 倍、石英的 8.5 倍、碳化硼的 3.1 倍、立方氮化硼的 1.56 倍。

(2)强度　金刚石具有极大的静抗压强度(简称强度)。它大大超过了目前工程技术中应用的主要研磨材料的强度。天然金刚石的抗压强度约为 8.8GPa，为刚玉的 3.5 倍、硬质合金的 1.5 倍、钢的 9 倍。金刚石同某些坚硬材料的抗压强度的比值如表 4-1 所示。金刚石的冲击强度、抗弯强度较小。由于金刚石脆性大，受冲击易产生裂纹，甚至碎裂，在钻进时要避免冲击、碰撞。

表 4-1　金刚石强度比较表

材料	金刚石/石英	金刚石/刚玉	金刚石/碳化钨	金刚石/碳化硅	金刚石/碳化硼
比值	5.5	4.5	3.4	2.95	2

(3)耐磨性　由于金刚石硬度最高，弹性模量极大(9.00 GPa)，摩擦系数小；因而它具有最高的耐磨性和研磨能力。金刚石的研磨性比所有其他研磨材料高很多。

(4)热学性质　金刚石在低温时(100℃以下)的热膨胀系数极小，约为 9×10^{-7} ~ 14.5×10^{-7}。金刚石的线性膨胀系数比钢低 7/8 ~ 9/10，比硬质合金低 3/4 ~ 4/5。金刚石的体积膨胀平均系数为 0.39×10^{-5}，是钢的 80%。金刚石的热膨胀性对金刚石钻头的制造非常重要。

金刚石具有良好的导热性，容易吸热，也容易散热。切削时，金刚石的导热速度比硬质合金快，是硬质合金的 2.5 倍。钻进时，散热快有利于冷却，但吸热快容易造成金刚石

的微烧,甚至产生碳化。

热稳定性是指在高温下性能的稳定程度。金刚石的热稳定性较差,在空气中加热到300℃时开始氧化;加热到800℃时质量开始减轻,晶体颜色发生变化;升至900℃时,金刚石质量发生明显变化,表面变得疏松且易破碎。在1000℃时金刚石完全消失,仅剩下一点与原始晶体杂质颜色相近的残余物。温度对金刚石强度影响较大,温度升高,强度下降。

2. 化学性质

常温下金刚石与酸不反应,与碱起缓慢反应,具有良好的化学稳定性。在沸腾温度下硝酸、氢氟酸、王水对金刚石的质量有影响。金刚石能溶于硝酸钠、硝酸钾及碳酸钠的熔融体中。在高温下,某些金属如铁、镍等能熔解金刚石。金刚石是非极性矿物,其表面具有很高的亲油疏水性。

二、金刚石钻头和扩孔器的制造方法

金刚石钻头的制造方法较多,按制造工艺可分为烧结法和电镀法两种。金刚石钻头按包镶形式则可分为表镶和孕镶两类。早期采用手镶法,现在根据制造工艺的不同,可分为冷压浸渍、热压烧结、无压浸渍、低温电镀和电火花烧结法。

为了保证在钻进中钻孔直径不因钻头外径磨损而缩小,应在金刚石钻头的上部安置一个金刚石扩孔器。扩孔器的制造方法与制造钻头方法相同。

三、金刚石钻进的特点

金刚石钻进是目前钻进方法中效率较高的一种钻进方法,是加快地质勘探速度,提高钻孔质量的一个有效途径。生产实践证明,金刚石钻进有很多优越性。①钻进效率高,在岩石愈硬的地层,钻进效率提高的幅度愈大;②钻孔质量好,岩心采取率比较高,而且岩心完整、光滑。在煤田地质勘探岩心钻探中,采取绳索取心或其他单动双管金刚石钻进,有利提高煤层顶底板、夹矸地层和煤层的取心质量。金刚石钻进的钻孔弯曲较小;③孔内事故少,应用范围广;④装备轻,劳动强度低,钻探成本低。

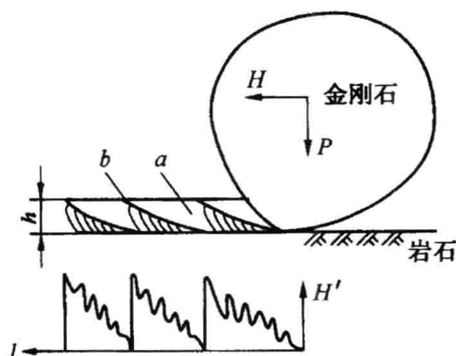
第二节 金刚石钻头破碎岩石机理

金刚石钻头破岩过程存在着研磨、切削、压裂、压碎等破岩形式。对于不同的岩石,采用不同类型的钻头和不同的参数,各种破岩形式所占的地位也不同。

表镶钻头上的金刚石颗粒出刃量较大,分析其破碎岩石过程时,取单颗金刚石为研究对象,并将其视为球体(如图4-1所示)。理论和试验表明:表镶金刚石钻头破碎坚硬脆性岩石时,其主要破碎方式为压裂、压碎加体积剪切,而切削破碎方式是次要的。在破碎塑性大的硬及中硬岩石时,则主要以切削方式破碎岩石,而以压裂、压碎为辅。

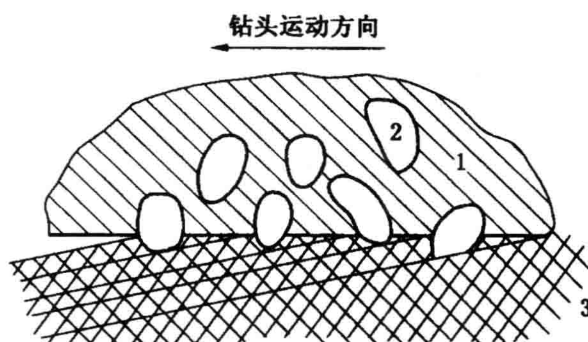
孕镶钻头所用金刚石的粒度小,且埋藏于胎体之中,其实际碎岩机理和砂轮磨削类似(如图4-2所示)。以刃具面多而小的硬质点—金刚石对岩石进行刻划磨蚀、微切削、

微压裂、压碎。因此孕镶钻头要取得应有的效率需要高转速工作，为了有效地磨削岩石，需要使胎体适当地被磨蚀。



P－垂直压力；H－水平力；h－切入深度；H'－水平阻力；
l－水平移动距离；a－大体积剪张体；b－小体积剪张体

图 4-1 单粒金刚石破碎作用



1－胎体；2－金刚石；3－岩石

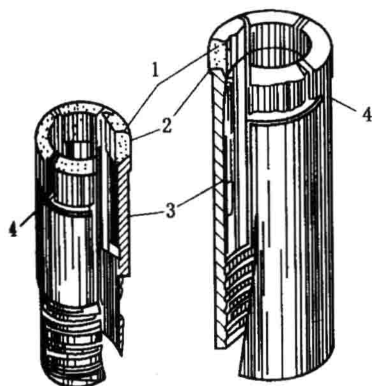
图 4-2 孕镶钻头的金刚石颗粒工作图

第三节 金刚石钻头和扩孔器

金刚石钻头与扩孔器是直接破岩的工具，其质量的好坏与地层的适应程度直接影响钻进的效率、质量和成本。

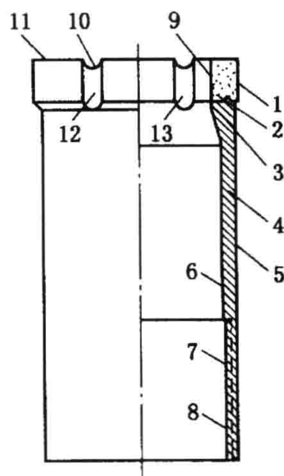
一、金刚石钻头的分类

金刚石钻头按其制造方法不同，可分为烧结法和电镀法两种，其结构和各部分的名称如图 4-3、图 4-4 所示。镶有金刚石的胎体与钻头钢体烧结（或电镀）在一起而成，其下端丝扣可与钻具组连接，上端面（镶金刚石部分）称为唇面，唇面与胎体内外有通水的水口。



1 – 金刚石；2 – 胎体；3 – 钻头体；4 – 水口

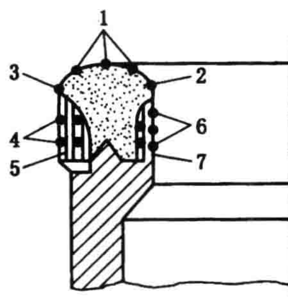
图 4-3　金刚石钻头结构



1 – 胎体外径；2 – 胎体；3 – 刚体锥面；4 – 刚体；5 – 刚体外径；6 – 钢体内径；7 – 内螺纹内径；
8 – 内螺纹外径；9 – 胎体内径；10 – 水口；11 – 胎体端面；12 – 外水端；13 – 内水槽

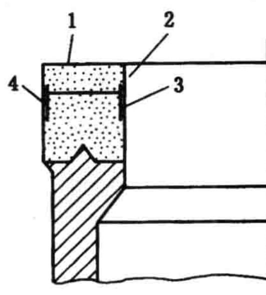
图 4-4　常用标准的金刚石钻头的各部分名称

金刚石钻头按包镶形式的不同，可分为表镶钻头与孕镶钻头两种（如图 4-5、图 4-6 所示）。



1 – 底刃金刚石；2 – 内边刃金刚石；3 – 外边刃金刚石；4 – 外保径金刚石；
5 – 外棱；6 – 内保径金刚石；7 – 内棱

图 4-5 表镶钻头胎体部分名称



1－工作层金刚石;2－金刚石层;3－内保径金刚石 4－外保径金刚石

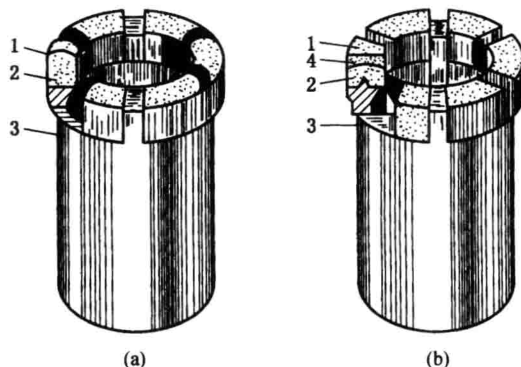
图 4-6 孕镶钻头胎体部分名称

1. 表镶金刚石钻头

金刚石分布在胎体表面上,如图 4-7(a)所示,当其刃角磨钝后可回收复用。钻头按金刚石粒度分粗、中、细 3 种:5～20 粒/克拉的为粗粒钻头;20～40 粒/克拉的为中粒钻头;40～100 粒/克拉的为细粒钻头。一般情况下,细粒钻头适用于钻进致密、坚硬地层。

2. 孕镶金刚石钻头

分布在胎体表面上,而且还分布于胎体内部的一定厚度层中(此层称胎体工作层),如图 4-7(b)所示。金刚石是 10～80 网目的天然粉级品或 60～129 网目(金刚石品级属特级)级的人造品。钻进时,随着胎体的磨损,金刚石切刃不断出露,旧切刃失去工作能力或脱掉,新切刃相继出露参与工作。孕镶钻头可保持稳定的钻速,应用范围广。还有一种"多层钻头",它是孕镶钻头的变种形式,与孕镶钻头的区别是胎体内部的金刚石分层并有一定的排列方式。



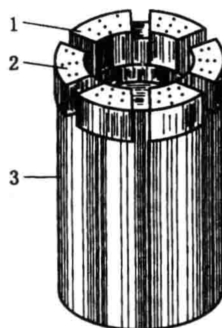
1－金刚石;2－胎体;3－钢体;4－工作层

图 4-7 表镶、孕镶金刚石钻头

钻头按金刚石成因分类,可分为天然金刚石钻头(表镶金刚石钻头)和人造金刚石钻头(多为孕镶金刚石钻头)。

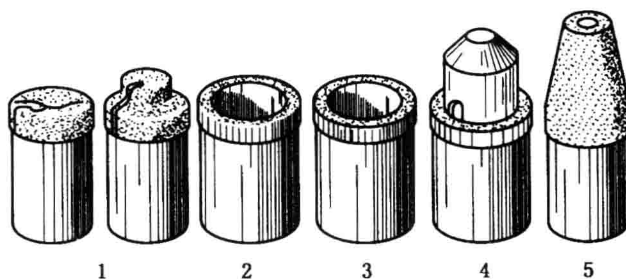
此外,还有一种聚晶金刚石钻头,如图 4-8 所示。由图中看出金刚石的镶焊属于表镶,但在工作时却起孕镶钻头的作用。它用于钻进较软和研磨性强岩层,可得到很高的

钻速。钻头按用途分类,可分为正常钻进的取心钻头和专用的特殊钻头。前面所述的均属取心钻头,特殊钻头如图 4-9 所示。



1 – 聚晶金刚石;2 – 胎体;3 – 钢体

图 4-8　聚晶金刚石钻头



1 – 不取心钻头;2 – 套管钻头;3 – 套管鞋;4 – 扩孔钻头;5 – 锥形钻头

图 4-9　几种特殊钻头

常用的双管岩心钻头规格如表 4-2 所示。

表 4-2　常用的双管岩心钻头规格

标准孔径/mm	28	36	46	46s	59	59s	75	75s	91
外径/mm	28.5	3.5	47	47	59.5	60	75	75	91
内径/mm	16.5	21.5	29	25	41.5	36	54.5	49	68
壁厚/mm	6	7.5	9	11	9.25	12	10.25	13	11.5

注:标准孔径中的 S 为绳索取心钻头。

为区别钻头品种和便于用户对钻头的选型,我国也规定了采用 6 个字母和数字以表示钻头品种特征的钻头品种代号,如:PRVP33 其中:P – 钻进方法;R – 金刚石类型;V – 金刚石镶嵌方式;P – 胎体唇面结构;3 – 胎体耐磨性(或硬度)等级;3 – 金刚石体积分数或密度。

具体地说,PRVP33 表示人造金刚石孕镶普通双管平底型钻头,金刚石体积分数为 75%,属中等耐磨性胎体(相当于 HRC35—40 热压胎体)。但第 5 位、第 6 位可不标出,由用户根据岩层性质和钻进条件向制造厂提出。

6 个字母和数字含义说明如下:

(1)第 1 个字母表示不同钻进方法的钻头:P – 普通双管钻头;沪单管钻头;S – 绳索

取心钻头;W－全面钻头;K－空气钻进钻头;Z－造斜钻头;p－冲击回转(液动锤)钻头;F－反循环钻头;C－底喷式钻头;B－不提钻换钻头。

(2)第2个字母表示金刚石类型:R－人造金刚石单晶;T－天然金刚石;F－复合片;Z－柱状聚晶;S－三角形聚晶;D－多角形聚晶;Y－圆片聚晶;k－勘探奈特。

(3)第3个字母表示金刚石镶嵌形式:B－表镶;V－孕镶;X一镶嵌;D一电镀。

(4)第4个字母表示钻头的唇面结构或代表唇面结构形式。

(5)第5个是数字,代表胎体的耐磨性或硬度等级。

(6)第6个数字代表孕镶钻头金刚石体积分数或表镶钻头金刚石分布的密度等级。

3. 胎体的唇面形状

表镶金刚石钻头的唇面形状有多种,要求不同来选用(如表4-3所示)。

二、金刚石钻头的技术参数

影响钻头适应性的主要技术因素包括胎体的端面形状、性能,水路系统,金刚石的质量、粒度、出刃量、浓度排列等。

1. 钻头的钢体

钻头的钢体用中碳钢制成,单管钻头的钢体长75 mm,上端有外丝扣,丝扣长度30 mm;双管钻头的钢体长度115 mm,上端有内丝扣,丝扣长33 mm,丝扣为特殊梯形扣。为了加强钢体同胎体的黏结强度,钢体下端加工成棱嵌式、阶梯形、方形或螺纹形等。

2. 胎体的唇面形状

表镶金刚石钻头的唇面形状有多种,它们随岩石的性质、钻头的壁厚、工作稳定性和要求不同来选用(如表4-3所示)。

表4-3 表镶金刚石钻头唇部断面形状及适用范围

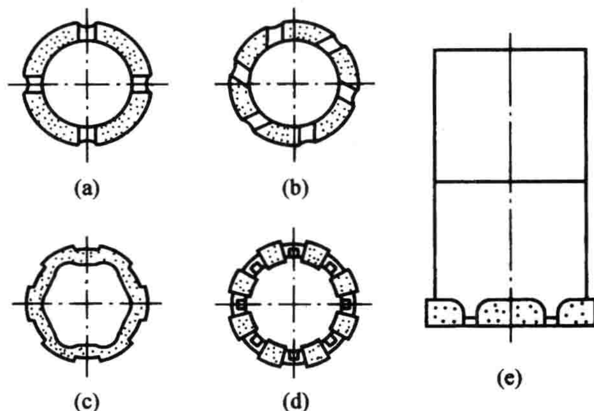
唇部断面	适用范围
圆弧形	圆弧半径大于胎体厚度的一半,可较好地保护钻头的内外径,适合于钻进中硬和硬岩层,此形状较易布置金刚石的定位眼和摆放金刚石。适用范围较广
半圆形	圆弧直径等于胎体厚度,呈半圆形状,可布置较多的金刚石。缓解了规径刃的过分磨损。适用于钻进裂隙、坚硬、软硬互层的研磨性岩层
多阶梯形	适用于钻进中硬和硬岩层,有利于破碎岩石和导向,多采用单阶梯形。多用于钻头壁厚较大的钻头。如绳索取心钻头
内锥形	适用于钻进研磨性强的和易破碎的岩层及容易引起钻头内边刃过早磨损的岩层,也可钻进砾岩。用于厚壁钻头,如绳索取心钻头和泥浆钻头
外锥形	适用于钻进较软和易碎的岩层。多用于双管和绳索取心钻头

孕镶金刚石钻头的唇面形状多为平底唇面钻进过程中自然形成的圆弧形。由于钻头壁较厚或钻进坚硬而弱研磨性岩层钻头容易打滑,往往把唇面制成同心环或交错环的锯齿状。为了克服在钻进坚硬岩层时钻头内、外环磨耗不均(通常内环过度磨损),将钻头制成梯形唇面。内外环金刚石胎体设计也有不同。

3. 钻头的水口和水路

钻头的水路包括钻头的水口和水槽。钻头的水路要保证钻头破岩面上的热量及时被冲洗液带走，有效地冷却钻头和金刚石。水口只流通一部分冲洗液，迫使大部分冲洗液经钻头内壁水槽均匀分布到整个钻头破碎面。

水口的形式有直水口、正螺旋水口、反螺旋水口及底喷水口等（如图 4-10 所示）。



a－直水口；b－正螺旋水口；c－反螺旋水口；d－底喷水口；e－钻头上水槽

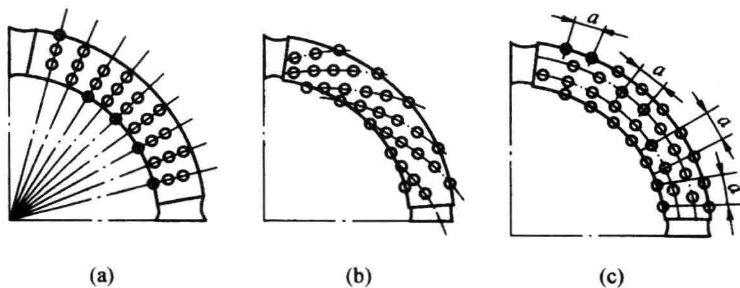
图 4-10　常见的几种水口及水槽形状

4. 金刚石在唇面上的排列

金刚石在唇面上的排列和分布是表镶钻头的一个重要结构参量。钻进过程中，边刃负担最重，其次为底部，再次为侧部。优质金刚石用于边部，品级较高的用于底部，品级较低及回收金刚石用于侧部。

单位面积内摆放金刚石的数目称为钻头的充满度。摆放的充满度过小，在单位孔底碎 岩面上金刚石工作面过小，相对金刚石负担过大，则钻头寿命短；相反，充满度过大，钻头成本高，还会影响孔底的冲洗。

金刚石在钻头唇面上的排列方式有放射状、螺旋状和等间距状（如图 4-11 所示）。金刚石在钻头唇面厚度方向多采用同心环状排列，并在径向必须有一定的重叠度，减少钻头部拉槽的可能性。



a－放射状；b－螺旋状；c－等间距状

图 4-11　表镶钻头金刚石的排列形式

5. 金刚石的粒度

金刚石的粒度决定了金刚石在钻头唇面的出刃高度、分布密度、切入岩石的深度、金刚石与岩石的接触面积和孕镶钻头的自锐能力等，对钻进指标有明显影响。岩层越硬，岩石越致密，越应选小粒度的金刚石钻头。表4-4、表4-5为金刚石粒度推荐值。

表4-4 表镶钻头用金刚石粒度推荐值

等级	粗粒	中粒	细粒	特细粒
粒度/(粒·克拉$^{-1}$)	15~25	25~40	40~60	60~100
岩层	中硬	中硬—硬	硬	硬—坚硬

表4-5 孕镶钻头用金刚石粒度推荐值

粒度/网目					
粒度/网目	人造	<46	46~60	60~80	80~100
	天然	20~30	30~40	40~60	60~80
岩层		中硬-硬		硬-坚硬	

6. 金刚石的含量

金刚石的含量决定于钻头的直径和岩石性质。钻头直径大，克取岩石面积大，则所需的金刚石数量多；反之，则少些。同一直径的钻头，岩层研磨性强，金刚石磨耗快，金刚石的数量也应增加。钻头的金刚石用量如表4-6所示。

表4-6 钻头的金刚石用量 单位：克拉

钻头直径/mm	36	46	56	66	76
表镶钻头	7~8	8~10	10~15	12~20	13~22
孕镶钻头	8~10	10~12	12~17	14~19	16~22

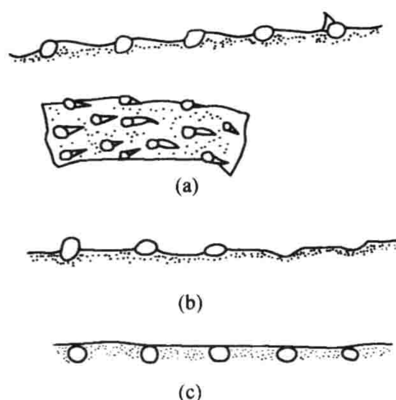
对于孕镶钻头，金刚石含量还与金刚石的体积分数有关。金刚石体积分数是胎体工作层单位体积中所含的金刚石量(体积分数)。当金刚石占胎体体积的1/4时，其体积分数应为100%。此时每立方厘米金刚石层含4.4克拉金刚石。

确定胎体的金刚石体积分数时，应考虑岩石性质和金刚石的质量、粒度。岩层愈是坚硬、致密，金刚石的体积分数愈应降低。金刚石质量好、粒度细，体积分数取低值；反之，体积分数取高值。

7. 胎体的性能

胎体成分主要由骨架材料和黏结金属组成。改变骨架材料和黏结金属的配方就能改变胎体的硬度和耐磨性。

对于表镶钻头，胎体的作用主要是牢固包镶金刚石并与钢体牢固焊接；所以胎体一般不分很多等级，常用中硬和硬的胎体。对于孕镶钻头，胎体的作用除了牢固包镶金刚石与钢体牢固焊接外，还要保证金刚石在钻进过程中有自锐作用。胎体的硬度和耐磨性应与所钻进的地层相适应。胎体的磨耗略超前于金刚石磨耗，使得金刚石在旋转方向的背后有蝌蚪状的胎体支撑，用手触摸时有粗糙感，说明选用的钻头胎体性能与岩性相适应(如图4-12所示)。



a－胎体硬度适当，出刃正常；b－胎体偏软，磨损太快，金刚石崩刃，掉粒；
c－胎体太硬，磨损太慢，金刚石不出刃

图 4-12　胎体和金刚石相应的磨耗状态

8. 保径层

表镶钻头因有内外侧刃，毋需保径。对于孕镶钻头通常采用人造聚晶金刚石、针状合金或质量差的天然金刚石进行保径补强，提高内外径的耐磨性。

三、扩孔器

扩孔器是金刚石钻进中的特有工具，接于钻头与岩心管之间。常见的金刚石钻头扩孔器如图 4-13 所示，其功能是：①修整孔壁，保证孔壁光滑整齐，孔径均匀，不会因钻头磨损而缩小；②导正钻头，保持其稳定工作；③分担钻头外侧刃的工作量，既保证了足够的孔壁间隙，又使钻头外出刃不太大。

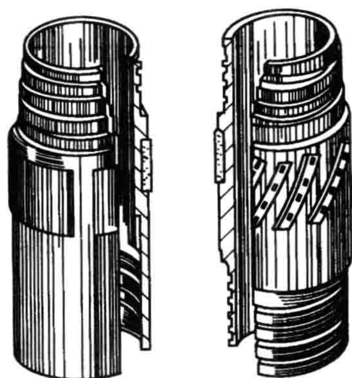


图 4-13　金刚石钻头扩孔器

扩孔器按所镶金刚石类型不同分为天然和人造两种。天然金刚石的粒度在 10 ~ 50 粒/克拉的称为粗粒；粒度在 60 ~ 200 粒/克拉的称为细粒。由于它的工作量远小于钻头，所以金刚石都是次级品。人造金刚石的粒度约为 60 ~ 100 网目。也可镶直径 2 ~ 2.5 mm的人造金刚石聚晶体。

扩孔器按金刚石的包镶形式不同，也有表镶、孕镶之分。表镶的金刚石是天然晶粗

粒;孕镶的金刚石是天然品细粒或人造金刚石。金刚石含量如表4-7所示。

扩孔器的标准规格与相应的钻头规格相同,而实际的外径尺寸比钻头直径大0.3~0.5 mm,使用时必须与钻头精细配合才会发挥作用。各规格扩孔器的尺寸参数如表4-8所示,一般情况下,一个扩孔器可配换3~5个钻头。

表4-7 扩孔器用金刚石含量

标准直径/mm	表镶	孕镶	标称直径/mm	表镶	孕镶
36	5~7	7~8	75	9~14	14~19
46	6~8	8~10	91	11~17	17~23
59	8~11	11~15			

表4-8 扩孔器的尺寸参数

标准直径/mm	外径+0.2/mm	内径/mm	工作带宽/mm	全长/mm
28	29	21	20	80
36	37	27	25	120
46	47	36/34	25	120
59	60	48.5/46.5	30	160
7J	75.5	62.5/60.5	30	160
91	91.5	78	35	170

注:内径斜分线下数字为绳索取心用。

第四节 金刚石钻进规程

金刚石钻进与其他钻进方法一样,在正确选择钻头的情况下,其钻进效率取决于规程参数,即钻压、转速和泵量。要想获得最佳的钻进技术经济指标,合理选择参数非常必要。评价金刚石钻进技术参数是否合理,其主要标志是:机械钻速、钻头进尺金刚石消耗量。机械钻速高低直接影响钻探生产进度;金刚石消耗费用影响到钻探生产成本费用。确定钻进技术参数时,除了考虑机械钻速外,还要充分考虑钻头寿命问题。

一、钻压

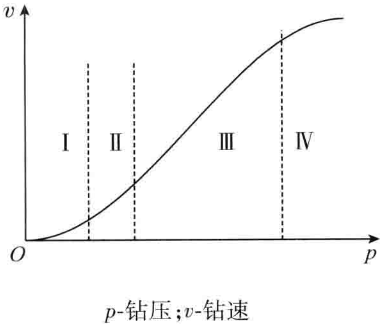
金刚石钻进中,合适的钻压,可使钻速高而金刚石的消耗量较少。这就要求既要保证金刚石能有效地切入岩石,又要保证不超过每颗金刚石的允许承载能力。即:作用于钻头上的钻压,应使每粒工作的金刚石与岩石的接触压力既大于岩石的抗压入强度,又小于金刚石本身的抗压强度。

生产实践证明:金刚石钻进的机械钻速与钻压有密切关系(如图4-14所示)。

当钻压很小时(Ⅰ区),达不到破碎岩石的强度极限,破碎过程主要依靠金刚石与岩石间摩擦力引起表面研磨而实现的直线关系。在此情况下,机械钻速低,钻速随钻压的变化几乎呈直线关系。

当钻压增大到岩石强度值时（Ⅲ区），机械钻速大大提高，并随钻压的增大呈直线增长。此时，岩石破碎呈现为体积破碎。

由表面破碎（Ⅰ区）过渡到体积破碎（Ⅲ区）经过Ⅱ区，在此区域内，破碎速度的增长快于钻压的增大。脆性岩石，钻压在初始接触面上达不到岩石破碎值，但沿接触面外缘能产生裂隙或部分破碎。塑性岩石则不足于引起接触面积上的破碎。



p-钻压；v-钻速

图 4-14 钻速与钻压的关系

如钻压大大超出允许限度时（Ⅳ区），钻速虽有提高，但随之也出现一些不利因素，如：岩屑颗粒增大，胎体唇面与岩石面之间的间隙减小，大粒岩屑在间隙中被金刚石再次破碎研细，致使金刚石、胎体无益磨损，引起金刚石过多出露和早期脱掉。此外，岩粉量的增多，有碍于钻头唇面下冲洗液的流动，甚至堵塞通路。若钻压进一步增大，会导致金刚石崩刃或压碎。因此，在Ⅳ区内，机械钻速增长将小于钻压的增长，甚至钻速下降。

另外，从磨损（即单位进尺金刚石消耗量）方面看，Ⅰ ~ Ⅲ区，尤其是Ⅲ区，随着钻压的增长带来了钻速的显著增长，但磨损的增加却是缓慢的；在Ⅳ区，钻压增加非但不能带来钻速的显著增长，反而使磨损显著增加。

综合上述钻速和磨损的对比分析，可断定钻压应有一个优值区。

1. 表镶钻头的钻压

表镶钻头的钻压可按岩石的抗压强度计算：

$$P = \sigma \cdot m \cdot \eta \cdot S$$

式中 P—钻头的钻压，N；

σ—岩石抗压强度，MPa；

m—钻头唇面金刚石粒数；

S—单粒金刚石与岩石接触面积，m^2；

η—金刚石参加破碎岩石的系数，约为 2/3 ~ 3/4。

常见岩石的抗压强度如表 1-4 所示。不同粒度的金刚石与岩石的接触面积如表4-9所示。

表 4-9 金刚石与岩石的接触面积

金刚石粒度/（粒 · 克拉$^{-1}$）	金刚石直径/mm	与岩石接触面积/（10^{-6} m^2）
16	2.10	0.16
20	1.80	0.14
30	1.50	0.12
60	1.25	0.10
125	1.00	0.08

计算式中系数 η，在新钻头初下孔时可取小值。经过一段时间磨合后，参与工作的

金刚石增多,可取大值。当钻头一直用到有金刚石脱掉时,η 值取 2/3 或更小。

为了简化计算条件,可采用单粒金刚石容许载荷来计算:

$$P = P_0 \cdot m \cdot \eta$$

式中 P_0—单粒金刚石容许载荷,一般取 15 - 25N。

2. 孕镶钻头的钻压

在孕镶钻头上,细粒的金刚石均匀地分布在工作层胎体中,钻压如按参加切削岩石的金刚石粒数来计算较困难;因此,只能粗略的计算。

细小的金刚石与岩石接触面积可近似取其自身断面面积。根据矿物定量分析原理,不论金刚石的颗粒大小,若其体积分数相同,在工作层某一断面上金刚石断面的总和是相等的。据此,钻头上的载荷为

$$P = P_m \cdot S_0 \cdot \eta$$

式中P—钻头的钻压,N;

P_m—加在金刚石单位面积上的载荷,N/m^2

S_0—金刚石断面面积总和,cm^2;

η—金刚石参加切削的比例系数,0.4 ~0.66。

金刚石断面面积与钻头唇部工作面面积的百分比,称为"布满度",以 e 表示:

$$e = S_0/S$$

则钻压计算公式可写成

$$P = Pm \cdot e \cdot S \cdot \eta$$

人造金刚石 P_m 值取(2800—3200) $\times 10^4$ N/m^2;天然金刚石取(3000 ~3400) $\times 10^4$ N/m^2。

3. 聚晶金刚石钻头的钻压

聚晶金刚石钻头的钻压可用表镶钻头压力计算式计算,这里 $\eta = 1$。

$$P = \sigma \cdot m \cdot S$$

式中 S—金刚石聚晶体断面面积,mm^2。

表 4-10 列出了一般常用的钻压值,供选择参考。

表 4-10 常用钻头的钻压值

钻头种类	钻头 直径/mm				
	36	46	59	75	91
表镶钻头/N	2000 ~4000	3000 ~6000	4000 ~7500	6000 ~10 000	8000 ~11 000
孕镶钻头/N	2500 ~4500	4000 ~7000	4500 ~8500	6000 ~11 000	8000 ~15 000
聚晶钻头/N	2000 ~3000	3000 ~4500	4000 ~7000	6000 ~9000	8000 ~12 000

4. 钻压的调节

不论是计算钻压值或表列数字都是正常钻进的钻压。实际生产中应根据具体情况进行调节。

(1)岩石性质方面 岩石完整、硬度高,中等研磨性,宜采用大钻压;岩石较软,研磨

性强、裂隙发育、破碎、不均质等,应采用小钻压。

(2)金刚石方面　金刚石晶形完整椭圆化、抛光处理的,可采用大钻压;晶形有缺陷、晶级低的应选用小钻压。同样硬度的钻头,颗粒大的金刚石用小钻压,颗粒小的金刚石用大钻压。

(3)钻头状态　新钻头下孔,其唇部形状与孔底形状不适应,其钻压必须减轻到正常钻压的1/4~1/5,经过一段时间磨合后(约10~15 min),再增加到正常钻压。这就是所说的2次加压。

(4)钻孔状况　在钻孔弯曲、超径情况下钻压要适当降低;孔内发生异常,如泵压升高,转矩增大时,应减轻钻压。

(5)与转速的配合一般情况下,转速较高时,钻压应适当降低。

钻进中,钻压应保持平稳,不得大幅度调节。钻速降低时,不许盲目地超额加压。

必须指出,这里所说的钻压是指纯加在钻头上的压力,至于冲洗液对钻具的浮力、水压反作用力以及钻具摩擦阻力等都应在确定机械给进时加以考虑。

二、转速

金刚石钻进中,钻头转速是决定钻进效率的重要参数之一。在一定条件下,转速愈高,则钻速也愈高。这已被多种岩石试验所证实。由于在钻压保证了金刚石以体积破碎而碎岩的情况下,转速的提高代表着单位时间单粒金刚石完成破碎岩石行程的线性增长。但转速的提高同时也会带来相应的压力损失的增加,所以通过提高转速来提高钻速应有所限制。

另外,从钻头磨损来看,随着转速的提高,钻头的磨损也会加快,但其变化程度低于碎岩效率的增长幅度,所以表现为转速增加,而相对磨损量下降。

孕镶钻头金刚石颗粒细小,切入岩石浅,只有靠单位时间内进行更多次破碎岩石才能获得高效;因此,要求转速更高,以圆周线速度计,一般为1.5~3.0 m/s。

表镶钻头因为金刚石露刃大,受到振动易损伤;所以转速应该相对低些,其圆周线速度为1~2 m/s。

圆周线速度u与转数n之间可按下式换算:

$$n=(6\times10^4V)/\pi D_{cp}$$

式中V—圆周线速度,m/s;

　　D_{cp}—钻头平均直径,mm 。

不同直径钻头转数可由表4-11中选取。对于聚晶钻头,转数可参照表中表镶钻头转数来选取。

表4-11　不同直径钻头转数

钻头种类	钻头直径/mm				
	36	46	59	75	91
表镶钻头/(r/min^{-1})	980~1970	800~1610	570~1140	440~880	360~720
孕镶钻头/(r/min^{-1})	1300~2200	1000~1700	760~1300	600~1050	480~840

不论是计算或查表,都可看出,转速的调节范围较大。钻进中,要根据具体情况进行选择。选择时大体应遵循以下原则:

(1)从岩石性质来说,在坚硬致密岩层钻进,主要靠压碎岩石,宜采用较低转速;在中硬至硬、中等研磨性的完整岩层中钻进,一般可采用较高转速;在复杂地层钻进,宜采用较低转速。

(2)从钻头质量来说,若钻头质量好,金刚石品级低,宜采用低转速。此外,颗粒大选低转速。金刚石品级高,宜采用高转速;若钻头质量调节转速还要考虑到金刚石的粒度。

(3)新钻头下孔时,须用低转速试钻数分钟,无异常后再转正常转速。正常钻进中如发现孔内有异常响声、激烈振动或转矩增大现象时,须立即降低转速,仔细观察。

(4)当钻具级配不合理(孔径与钻杆径差值大),钻孔弯曲时,都不能用高转速。

金刚石钻进,钻头转数划分为 4 级:①高转数:700 ~ 1000 r/min 以上;②中转数:400 ~ 600 r/min;③低转数:200 ~ 300 r/min;④最低转数:100 r/min 以下。

目前,钻机的变速系统多采用分级变速。一种钻机其转数设置是固定的,所以钻进中转速的选择范围很有限。

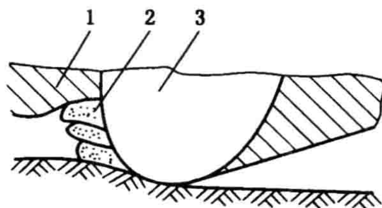
三、冲洗液量

1. 金刚石钻进冲洗的意义

金刚石钻进作为一种通过金刚石与岩石接触,在压力、回转力作用下破碎岩石的钻进方法,其冲洗的意义包括以下方面:

(1)冷却钻头　钻进中伴随着破碎岩石,产生大量的摩擦热量,而金刚石性能对温度的要求很严格;因此必须对钻头进行充分的冷却,不可有片刻的间断。按能量转换计算,钻进中在正常钻压、转速情况下,如断绝冲洗液循环 2min,钻头便被烧毁。

(2)排除岩粉　钻进中产生的岩粉既要首先冲离孔底,避免重复破碎,还要能够随冲洗液的循环将岩粉带上地表,防止岩粉在钻孔中的堆积。由于钻头工作面下的间隙很小,金刚石前面的岩屑颗粒被压皱凸起的岩石抬起,对胎体进行削蚀(如图 4-15 所示)。部分岩屑颗粒被挤压在金刚石下遭到重复破碎,无益地磨损金刚石。所以排粉状况也影响着胎体正常磨损与金刚石暴露出刃量的动态平衡。



1 - 胎体;2 - 岩屑;3 - 金刚石

图 4-15　钻头工作面下岩粉挤压情况

(3)润滑作用　冲洗液既为金刚石与孔底岩石、岩粉与胎体的接触摩擦介质,同时也是钻具与孔壁的接触介质。由于金刚石钻进钻具转速较高,润滑作用效果直接影响到金刚石的消耗和胎体的磨损速度,同时也影响钻具的使用寿命;所以,金刚石钻进中润滑冲

洗液的研究备受重视。

另外,冲洗液的存在能够维持孔内的压力平衡,并通过失水在孔壁形成泥皮,起到保护孔壁的作用。

2. 冲洗液量的确定

确定金刚石钻进冲洗液量,应从3个方面来考虑:①保证钻头充分冷却;②保证把岩粉从钻头下带走;③把岩粉排出孔外。上述3个方面需要的冲洗液量均可通过相关的公式推算而得,但由于3个作用是相互连带的,冲洗液量只需要保证达到其中的最大值即可。通常情况下,按岩粉升速计算所得值为最大,且条件简单,所以生产中普遍使用。岩粉离开孔底沿孔壁、钻具之间的环状间隙上升所需的冲洗液量的计算公式为

$$Q = 6 \cdot S_n \cdot U_n$$

式中S_n—钻孔与钻具之间的最大环状间隙断面面积,cm^2;

U_n—冲洗液流上升速度,m/s,其值应大于0.3~0.5 m/s。

应当指出,这里所计算的冲洗液量是指纯送到孔底的量。在实际生产中,送入孔内的泵量都远大于这个计算量,这是考虑到输送管路中的漏失以及孔壁漏失的应变等因素,尤其是管路漏失应值得注意。常用泵量如表4-12所示。

表4-12　冲洗液常用泵量　　单位:L/min

钻头种类	钻头直径/mm				
	36	46	59	75	91
普通钻头	20~30	25~40	30~45	40~60	50~70
绳索取心钻头		25~30	30~35	40~70	

无论是计算冲洗液量或表中所列泵量,在实际应用中要根据具体情况进行调节。如钻速高、岩石粗糙或研磨性强时,应采用大泵量;反之应采用小泵量。此外,泵量还要随着钻孔的加深而适当增加。

泵量大,对冷却钻头,清除岩粉都很有益。但泵量太大,泵压势必升高,会使钻压降低,同时高速液流对孔壁有冲刷作用,并会对不稳定地层加剧其恶化。

生产实践中,金刚石钻进对冲洗液的要求并不是太严格,因其难以保证。但必须保证不间断地供应,钻进中不允许有片刻停水。钻杆接头必须严密不漏水。为确保水泵工作良好,最好不用分流方式调节泵量。

3. 泵压

钻进中,要时刻注意泵压的变化。在正常情况下,泵压应为

$$P_0 = P_1 + \triangle p \cdot L$$

式中p_1—水泵管路、岩心管及钻头等通路的压力损失(约为8 kPa);

$\triangle p$—单位孔深的压力损失(均为2 kPa);

L—孔深,m。

钻进中,如发现泵压突然降低,可以判断为冲洗液在输送途中漏失,没有送到孔底,或水泵出现故障;如泵压突然升高,可以判断为水路堵塞,冲洗液流动不畅。这些现象出

现,都对冷却、排粉不利,必须立即停钻检查,切勿勉强钻进。

为了减轻高速回转钻具与孔壁的摩擦阻力,冲洗液应具有润滑性,如采用乳状液,加润滑剂的低固相泥浆等。

第五节 金刚石钻进的操作及注意事项

一、金刚石钻头的选择和使用

金刚石钻进的技术经济效果与管理密切相关。实践证明,只有科学地选择钻头,并合理地使用,才能提高钻速,减少事故,增加纯钻进时间和延长钻头寿命。

1. 钻头的选择

金刚石钻头要求与岩石性质相适应,如选用得当,会收到较好效果;如选择不当,不但钻进效果不好,甚至引起其他方面的麻烦。国外钻头品种繁多,能满足要求,而我国目前的钻头品种较少,尚不能满足要求。

钻头选择原则如下:

(1)软和较软岩层,可选用聚晶金刚石钻头;软的、中硬和完整均质较硬岩层,可选用天然表镶钻头;软硬不均、节理发育和裂隙岩层,宜选用孕镶钻头。

(2)对金刚石粒度而言,岩石的研磨性越强、硬度越高,则钻头的金刚石颗粒应越小,最好用孕镶钻头。岩石硬度越低、研磨性越弱,则钻头的金刚石颗粒应越大,如选用天然金刚石钻头、聚晶金刚石钻头。

(3)对金刚石镶焊浓度而言,岩石硬度越高或研磨性越弱,则钻头金刚石浓度应越低;反之,岩石硬度越低或研磨性越强,则钻头金刚石浓度应越高。

(4)对胎体性能而言,岩石的研磨性越强或硬度越低,则钻头胎体的硬度应越高;反之,岩石的研磨性越弱或硬度越高,则钻头胎体硬度应越低。但是,研磨性强且硬度高的岩石,不应选软胎体钻头,以免其迅速磨损,失去作用。

按岩石硬度、研磨性来选择钻头参数,如表 4-13 所示。

表 4-13 钻头参数

项目	按岩石硬度选择			按岩石研磨性选择		
	坚硬	中硬	较软	强	中	弱
金刚石粒度/网目	100	80 ~ 46	46	100	80 ~ 46	46
金刚石浓度/%	50	50 ~ 70	100	100	50 ~ 75	50
胎体硬度 HRC	30 左右	40 左右	40 ~ 50	40 ~ 50	40 左右	30

(5)选择钻头时,还要考虑到与岩石性质相适应的钻头唇面形状。一般而言,对中硬、中研磨性岩层,宜选用平底唇面或弧边形唇面钻头;坚硬且研磨性高的岩层,可用半圆形唇面钻头。对复杂、破碎不易取得岩心的岩层,可选用阶梯底喷式唇面钻头;坚硬、致密、易出现打滑的岩层,可选用锯齿形或单双块形唇面钻头。

一般岩层都应采用“双层岩心管”钻头。只有在较坚硬、完整的岩层用“单管”薄壁钻头。基于上述原则和岩石物理力学性质,钻头的选择举例如下:

6~7级完整、均质的岩石,可选用人造聚晶金刚石钻头或粗粒表镶钻头,胎体硬度4级(HRC=40~50)。

7~8级中等研磨性较完整岩石,可用20~40粒/克拉、4级胎体(HRC=40~50)的天然金刚石表镶钻头;也可用50~75网目、75%~100%浓度人造金刚石、4级胎体的平底唇面或弧形唇面孕镶钻头。

9~10级中等研磨性较完整岩石,可用80网目、50%~75%浓度人造金刚石、3级胎体的弧形或半圆形唇面孕镶钻头。

10级以上坚硬、致密、研磨性弱岩石,可用50%浓度、80网目优质人造金刚石、3级胎体的锯齿形或单双块唇面孕镶钻头。

应该指出:孕镶钻头具有钻速均匀、应用范围广、寿命长等优点;且人造金刚石价格低廉,原材料来源广。建议在条件允许情况下,尽量选用人造金刚石孕镶钻头。

2. 钻头的使用

由于金刚石钻头的精度高,所以钻出的孔壁、岩心光滑完整,钻头在工作中,能使内、外出刃均匀磨损。内出刃的过度磨损,会造成岩心直径增大;外出刃磨损,则使孔径变小,造成扩孔器负担过重,甚至新换钻头有下不到孔底的可能,于是就增加了“扩孔”的麻烦,且外刃在应力集中情况下容易损坏。因此,钻头使用中提出了“分组”、“排队”的方法。

所谓分组排队,就是把全孔预用的钻头按类型、性能参数分成组,再把同类的钻头用游标卡尺精细地测出内外径(精度到微米)。然后,按外径由大到小、内径由小到大排列。使用时,先用大号。每次钻头出孔,要精细测量它的磨损情况。当发现直径磨损到容许限度(软岩石为0.05 mm,硬岩石为0.02 mm)时,换次一号钻头下孔。换下来的大号钻头,按它的外径重新编入队中相应号位等待再用。当次一号钻头下孔后又磨损到容许限度时,换下一号钻头下孔,换下来的次一号钻头重新插队待用。如此,每个钻头都要经过几次轮用。

当发现某号钻头磨耗到最大限度时,就把它提出队外,不论其唇部能否工作也不许再用,这个钻头的钻进总量便是它自身的“寿命”。所钻地层钻进完了,而队中钻头仍有可用者,就把它们排到另组队中待用。

为了掌握钻头的变化情况,所有的钻头都要建立“档案”(卡片),把每一回次的直径变化、回次进尺、机械钻速、钻进规程参数、累计进尺、所钻岩石性质及其他特殊情况等都记载在卡片上。钻头报废时,可从卡片中总结经验,以便更好地对钻头进行选择、使用。

3. 钻头磨损形态分析

金刚石钻头的磨损表现为金刚石和胎体的磨损。

在金刚石钻进中,分析磨损、变形原因是调节钻进技术的依据。例如,钻头选择、钻头质量和规程参数等是否合乎要求,这些都可以从钻头磨损变形中分析出来;因此,每次

提钻后都要对钻头进行细心的观察。

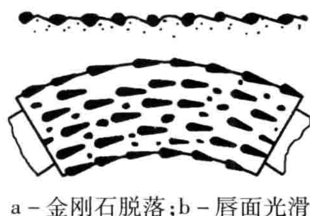
必须指出，这里所说的磨损变形是指钻进中出现的。至于“冲击”、“处理事故”的损坏，不在此例。

钻头磨损可分为正常磨损和非正常磨损两种情况：

所谓钻头的正常磨损是指唇部、内外径等都是轻微、均匀地磨损，没有局部突出变化。

表镶钻头的正常磨损表现为：金刚石刃尖磨平，出刃量保持不变，内、外径棱部有磨平现象，尺寸变化很小，胎体磨损很轻，没有崩裂、掉块或局部损伤现象。

孕镶钻头的正常磨损表现为：内、外径和底唇面磨损得非常缓慢，胎体磨损率内、外径不超过 0.02 mm/m，底高不超过 0.1 mm/m。底唇面呈弧状，唇面可出微小蝌蚪尾形（如图 4-16 所示）用手触摸，有粗糙感。



a－金刚石脱落；b－唇面光滑

图 4-16　钻头唇面正常磨损

钻头的正常磨损，说明钻头的选择适当，钻头质量高，钻进规程参数正常，钻头可以继续使用，钻进参数可保持不变。

所谓钻头的非正常磨损就是所说的“变形”，习惯地称它为“变相”。变相的钻头，轻者则钻进效能降低，重者则不能再用。现将常见的变相分析如下：

（1）底唇面光滑　底唇面光滑多是孕镶钻头钻进了致密坚硬岩石时出现的现象，如图 4-17(a)所示。钻头唇部工作面无蝌蚪纹，用手触摸有光滑感。这种现象说明钻头选择不当，胎体过硬不磨损，金刚石不能出刃所造成的。另外金刚石浓度太高，规程上钻压不足、转速偏离也会导致此种情况。

（2）金刚石脱落　金刚石脱落现象在表镶钻头较为明显，多属钻头质量问题，如图 4-17(b)所示。即包镶不牢或胎体偏软。从技术上分析，则是钻头选择不当或冲洗不充分，冲洗液中含砂量大等，使胎体过度磨损所造成的。

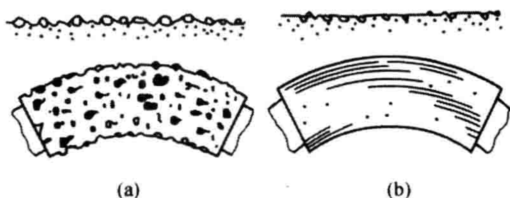


图 4-17　钻头唇面非正常磨损

（3）金刚石碎裂　金刚石碎裂也叫崩刃，常出现于表镶钻头。从地质技术上的原因来看，则是岩石破碎，裂隙发育；或是钻进参数不当，钻压过大，钻具振动激烈等所造成

的;从钻头质量上来说,则是金刚石强度低,有裂纹或其内应力高等。

(4)胎体磨偏　胎体磨偏表现为钻头各扇形块唇面磨损程度不均,原因纯属质量问题。主要是由于钻头与岩心管的同心度差或钻头中心线与底唇面垂直度差所致。图4-18中1即为因同心度差导致的,这样的钻头一般不能继续使用;图4-18中2即为底唇面与钢体轴线不垂直造成的。这种钻头连续使用易导致钻孔偏斜,而且钻具回转受力不均,产生跳动,钻进效果差,一般也不能再继续使用。

(5)喇叭形　喇叭形是最常见的钻头变形之一,其特征是内边缘处金刚石磨平甚至脱掉,胎体呈光滑斜面(如图4-18中3)。很多钻头因此而报废,这种现象,越是孔径小,钻头壁越厚则越为严重。变形发生的原因:从技术工艺方面分析,则是孔底存在岩石碎块脱落,残留岩心等物体,从而在钻头内刻落金刚石所致。

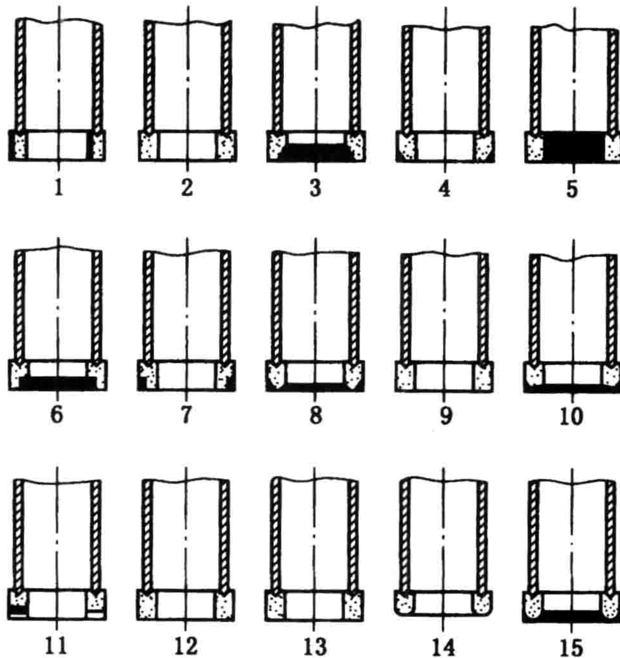


图4-18　钻头变形

(6)锥形体　锥形体也是常见钻头变形之一,但比喇叭形出现得少。变形特征与喇叭形正好相反,它是因外边缘金刚石脱掉呈锥形体(如图4-18中4)。出现原因多半是孔底有硬岩碎块,有冲洗液情况下而挤于外边缘,但又不能冲起致使胎体外侧受到研磨,促使金刚石提前脱掉被磨成锥形体。

(7)薄壁形　胎体内外壁磨损严重,壁变薄(如图4-18中5),是孕镶钻头常见的变形。原因是孔底积存岩粉多,冲洗液量小,钻压小,内、外壁受岩粉重复研磨所造成的。非工作层的变薄,则是补强不佳所致。

(8)底唇面呈台阶、槽沟形底唇面出现台阶形(如图4-18中6、7、8)或槽沟(如图4-18中9)的原因,从钻头质量上分析,是因为孕镶钻头制造中混料不均,表镶钻头金刚石覆盖不完全或不均匀;从技术方面分析,是因为钻压过大,冷却不良,胎体心部微烧。另

外,孔底有硬质岩石掉块或胎体碎块时也会出现这种磨损情况。

(9)底唇磨损过快　所谓底唇磨损过快是指每钻进 lm 工作层磨损超过 0.1 mm(如图 4-18 中 10)。从质量上分析,则是胎体过软和金刚石浓度太低以及金刚石品级低,使钻头耐磨性差所致。从技术上分析,可能是钻头在临界参数下长时间工作造成的。

(10)水口冲蚀　水口冲蚀(如图 4-18 中 11)的特征是水口变大,水槽处胎体棱角变圆,非工作层水槽呈螺旋形展宽。其原因是冲洗液量过大,在水口处流速过快且胎体偏软,而冲洗液中含砂量过高,导致胎体被冲蚀。

(11)胎体损块　胎体裂缝(如图 4-18 中 12),掉块(如图 4-18 中 13),工作层脱环(图 4-18 中 14)等都属于胎体损坏。究其原因,从钻头质量上分析,是胎体强度低、脆性大,或是金刚石浓度过高。从技术上分析,是钻头遇裂隙硬脆碎岩层仍使用大钻压,高转速,回转阻力不均,使钻具在回转中发生激烈振动甚至冲击所致。

(12)烧毁　烧毁即烧钻,是最常见的钻头变形,也是最严重的损坏。轻微烧钻时,表现为胎体轻微变色,金刚石石墨化,颜色变暗而失去光泽,虽可再用,但效率显著降低。严重烧钻时,胎体颜色变为蓝色或黑棕色,并且全部卷曲变形,金刚石碳化,胎体上结岩粉(如图 4-18 中 15)。更严重的,钻头和孔底岩石熔化在一起,造成重大事故原因即冲洗液量不足,或长时间在临界规程参数下钻进。

必须指出,钻头变形是多种多样的,远远超过以上举例。操作者须经常分析原因及技术措施。这样,才能提高效率、降低成本,更好地发挥金刚石钻探的优越性。

4. 金刚石磨损

这里所说的金刚石磨损,是指钻进过程中的纯磨损,不包括崩坏和严重烧毁。

通常,人们只注意钻头的变形,而金刚石自身的磨损变化却被人们所忽视。有条件的地方,应该用显微镜观察金刚石表面的磨损情况,分析原因,不断提高钻探技术。有关金刚石磨损分析的资料很少,常见的有下列几种类型:

(1)平行纹　平行纹如图 4-19(a)所示,是金刚石脱掉的细小微粒被混于岩粉中及坚硬的石英微粒隐于岩石微隙中,金刚石受其研磨而成的条纹。它属于正常磨损。

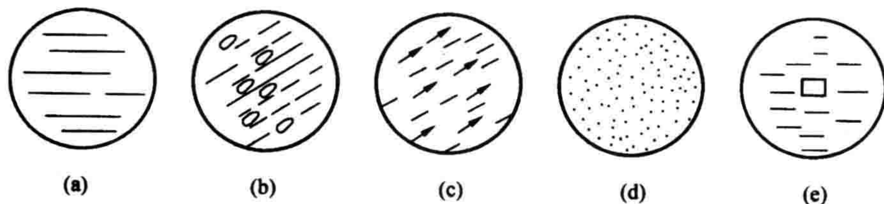


图 4-19　金刚石工作面磨损情况

(2)附着岩粉　在金刚石磨削面条纹中,有时出现鳞片状岩屑碎片,如图 4-19(b)所示。说明冲洗液量小或钻头结构不合理,金刚石得不到充分的冲洗。

(3)扩散形　扩散形是金刚石常见的磨损形,如图 4-19(c)所示。原因是由于破碎的研磨性大,金刚石与之摩擦产生高温而石墨化扩散。这说明金刚石的冷却不充分,参数接近了临界参数。

(4)光滑面　光滑面出现,可以判断它属于正常磨损,是金刚石轻微扩散与氧化作用的结果,如图4-19(d)所示。这说明钻进规程参数是合理的。

(5)凸起小块　在金刚石的摩擦面上有时出现了似乎没有受到磨损的凸起小块,如图4-19(e)所示。它是金刚石含氮杂质造成的局部硬块,与钻进技术无关,也属于正常磨损。应当指出,当表镶钻头和扩孔器用到报废程度时,金刚石实际消耗只达35% ~50%,剩余的残品还有再次利用的价值。粉末冶金法制造的钻头和扩孔器,其黏结金属都是以铜基合金为主的,只要把铜从胎体粉料中分离出来,金刚石就会自动脱落。

二、合理选择钻具的级配

为了尽量减小钻具与孔壁之间的环状间隙,增加钻具的稳定性,提高钻速,减少金刚石的消耗,避免金刚石钻头的异常磨损,合理选择钻具的级配非常重要。双层岩心管索取心钻具的标准级配如表4-14所示。

表4-14　钻具的标准级配　　单位:mm

钻孔公称系列	钻头			扩孔器	岩心外管			内外径间隙	岩心内管			钻杆			备注
	外径	内径	壁厚	外径	外径	内径	壁厚		外径	内径	壁厚	外径	内径	壁厚	
28	28	17	5.5	28.5	27	22.5	2.25	1	20.5	18	1.25	25	17	4	
36	36.5	21.5	7.5	37	35	9	3	1.25	26.5	9	1.75	33	23	5	
46	46.5	29	8.75	47	45	38	3.5	1.5	35	31	2	42	31	6	
59	59.5	41.5	9	60	58	51	3.5	1.75	47.5	43.5	2	54	42	6	普通
													(44)	(5)	
75	75	54.5	10.25	75.5	73	62.5	3.75	1.75	62	56.5	2.75	67	55	6	
												(71)	(61)	(5)	
91	91	68	11.5	91.5	89	81	4	2	77	70	3.5	67	55	6	
												(71)	(61)	(5)	
46	46.5	25	10.75	47	45	36	4.5	2.5	31	27	2	43.5	34	4.75	绳索
59	59.5	36	11.75	60	58	49	4.5	3	43	38	2.5	55.5	46	4.75	取心
75	75	49	13	75.5	73	63	5	3.5	56	51	23	71	61	5	

三、钻进操作注意事项

1. 开孔与换径

除坑道内施工外,地表上开孔尽量不用金刚石钻头。如果必须用时,则用旧的孕镶钻头为宜,并采用低压慢转的规程参数,待钻进1 ~2 m后,再换新钻头钻进。

下套管时,要细心检查螺纹部分,发现瘪凹、毛刺,要修平;修不好者不许接入。单根套管最好用“标准规”(如图4-20所示)试通一次,凡通不过的,则不能使用。

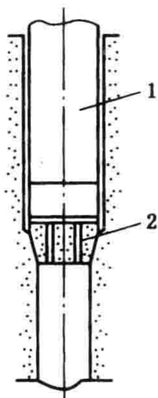
套管内初次下钻头,转速要低,如果遇到障碍,切不可强行通过。要换用套管铣刀去扫平障碍处.之后,再下入金刚石钻具。

下完套管,如果越级换径钻进时,必须带导正管的钻具组接钻头钻进,进尺数米后,换锥形钻头扫掉台阶使之呈漏斗形(如图4-21所示),以免下降钻具时顶卡钻具和冲撞

钻头。下完套管越级换径时，也可以在套管下端接一个漏斗口形套管鞋，这样可省掉导正钻进和扫台阶的麻烦。如图 4-22(a)所示的套管鞋，其通孔直径大于扩孔器外径 0.5 ~ 1mm，长度是钻头的 1.5 倍；如图 4-22(b)所示的套管鞋由上接头 1 和下接头 3 组成，中间夹胶套 2。下到孔底后，扭转套管，则上接头下进压缩胶套迫其向外膨胀，于是把孔底封严。金刚石钻进，尽量不用钢粒开孔。不得已而用时，下完套管后要彻底洗孔，钻具接头处也要敲打冲洗，不许一粒钢粒或钢粒碎屑隐患留在孔内和钻具内。

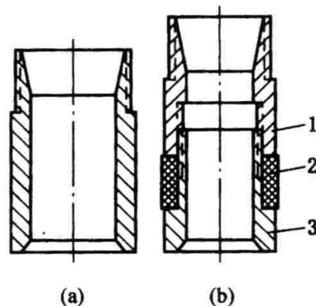


图 4-20　标准规



1 - 导向岩心管
2 - 锥形钻头管鞋

图 4-21　扫台阶



a 普通漏斗口形管鞋；b 封孔底的管鞋
1 - 上接头；2 - 胶套；3 - 下接头

图 4-22　套管鞋

2. 钻进

(1)严格掌握“五不扫”和“三必提”。即不用金刚石钻头扫孔、扫残留岩心、扫脱落岩心、扫掉块、扫探头石；下钻具遇阻轻转无效、岩心堵塞、钻速骤降时，必须提钻。

(2)下钻前要记好机上余尺，在回次钻进过程中，不准将钻具提离孔底加长钻杆。

(3)新钻头下孔后，必须进行“初磨”。开始时轻压(约为正常压力的 1/3)、慢转(100 r/min左右)，当进尺 0.2 ~ 0.3 m 后，逐渐增至正常钻压、转速。

(4)新钻头投入使用第一个回次不宜过长，应及时提钻观察钻头的磨损形态，钻头出现异常时，不再下孔。

(5)钻进过程中发现钻头“打滑”时，不准盲目加压钻进或瞬时干钻，而应立即提钻。

(6)减压钻进时，应使用钢丝绳将钻杆柱拉直后再倒杆。之后，用油缸将钻具提离孔底少许，再启动。

(7)在复杂岩层中钻进，提升钻具不得过快；并随时向孔内泵送冲洗液，以防“抽吸”作用而造成塌孔。

(8)根据钻速、泵压和功率的变化，几种孔内情况的判断与处理：①不进尺，泵压有所升高，功率有所下降。这种现象可以断定为岩心堵塞。这时，可把钻具提起少许，在回转中慢放到孔底并试钻数分钟；如无效则提钻处理；②钻速有些下降，功率突然升高，这种现象可以断定为钻进参数达到了临界参数。这时要把转速或钻压降下来，否则会发生烧毁钻头事故；③泵压突然下降，功率也随之减小，进尺停止。这是钻具折断的表现，对此，

要提钻试验或检查;④钻速急剧下降,泵压、机械功率升高,这是烧毁钻头的预兆。在此情况下,应迅速把钻头提离孔底,空转数分钟,无效的提钻处理。

3. 升降钻具

(1)升降钻具前必须认真检查升降机、滑车、钢丝绳、绳卡等是否安全可靠,发现问题,应及时修好。否则不得起、下钻。

(2)升降钻具过程中,应仔细检查钻杆、接头及岩心管的弯曲和磨损情况。弯曲、磨损严重的钻具应立即更换。要检查新钻杆的水眼、双管水路是否畅通,单动性能是否良好,卡簧与卡簧座是否合适等。

(3)每次起、下钻时,都要轻轻移动钻具,严禁在地面拖拉金刚石钻头和扩孔器。下钻时,应涂丝扣油,或缠棉纱、垫尼龙垫圈,以保护丝扣,防止冲洗液中途渗漏。还应注意在换径、套管鞋的部位以及掉块、探头石的孔段,放慢下钻速度。遇阻时,只能用钳子正向回转钻杆。

(4)下钻时,不得将钻具一直放到孔底。应离孔底 1 m 左右时,经大泵量冲洗后,再缓慢下放;距孔底 0.2 ~0.3 m 时,先拧紧卡盘,再慢下到底。

(5)升降钻具要平稳,禁止盲目快速升降。严禁刹车、猛墩。拧卸钻杆要平稳,以防岩心脱落。

(6)钻具放入或提出孔口时,必须由专人扶持,以免碰撞金刚石。钻具提出孔口后,应盖好孔口盖,防止杂物掉入孔内。

复习思考题

1. 简述金刚石钻进的钻具组成。
2. 金刚石的化学成分是什么? 金刚石常见晶形有哪些?
3. 说明金刚石的主要力学性质。
4. 说明金刚石的热性能。
5. 说明金刚石的常温化学性质。
6. 说明金刚石的钻进规程的分类。

第五章　冲击回转钻进

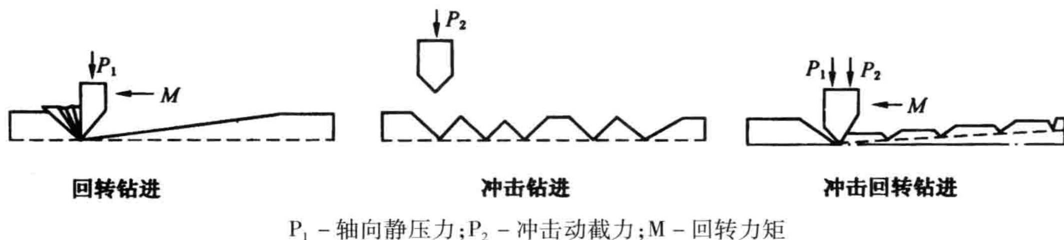
第一节　概　　述

冲击回转钻进指的是采用气动或液动冲击器在孔内进行冲击,同时用钻杆带动钻具回转的一种钻进方法。

1. 冲击回转钻进的实质

冲击回转钻进是有机地综合了冲击钻进和回转钻进的一种钻进方法。

冲击回转钻进主要是指在回转钻进的基础上,加入一个冲击力以提高钻进效率。在钻头上或岩心管上连接一个专门的冲击器,在钻进中给钻具以一定的轴向压力和回转运动,同时冲击器给钻具一定频率的冲击能量,在冲击和回转的共同作用下,钻头破碎岩石。进行钻进。钻头上同时作用 3 种载荷,即回转方向的回转力,轴向方向上的静压力和冲击力。在 3 种载荷的作用下,岩石以冲击、剪切和回转切削的方式破碎(如图 5-1 所示)。首先是切削具在冲击载荷作用下形成破碎岩穴,在两次冲击破碎岩穴之间形成孔底局部岩脊,通过切削具回转力作用将已经产生裂隙的岩脊切削下来。



P_1 – 轴向静压力;P_2 – 冲击动载力;M – 回转力矩

图 5-1　冲击回转钻进碎岩特征

2. 冲击回转钻的应用范围

(1)可用不同的磨料来钻进中硬、硬及坚硬岩石　用硬质合金为磨料时,最适用于钻进粗粒不均质的岩层,尤其是钻进可钻性 5 ~ 8 级岩层时,效果最为突出。采用金刚石冲击回转钻进,在硬及坚硬岩层中钻进效果较好。

(2)可钻进裂隙发育及"打滑"岩层　应用金刚石冲击回转钻进,可钻进裂隙发育的岩层及容易磨光金刚石的"打滑"岩层。

(3)钻孔直径及孔深均可满足各种钻孔要求　目前,采用液动冲击回转钻进方法所

施工的钻孔直径,由 50 ~ 1500 mm,可根据需要进行选择。钻进孔深可达800 ~ 1000 m。

(4)可进行取心钻进或无岩心钻进　冲击回转钻进方法不仅可用于取心钻进,也可进行无岩心钻进。采用无岩心冲击回转钻进,可进一步提高钻进效率。

(5)用于反循环及各种工程勘察施工　目前,各种贯通式及非贯通式液、气动冲击器广泛用于水力反循环连续取心钻进、气举反循环连续取心钻进中,并在岩心勘探、工程勘察施工、岩土工程施工中得到广泛应用。

3. 冲击回转钻进的优点

从国内外大量生产实践效果来看,冲击回转钻进具有钻进效率高、工程质量好、钢材用量少、孔内事故少、钻探工程成本低等优点。

第二节　冲击回转钻进的工具

冲击器是冲击回转钻进的关键部件,目前已发展了许多种冲击器。冲击器按动力方式可分为:①液动冲击器,采用高压水或泥浆作动力介质;②气动冲击器,又称气动潜孔锤,采用压缩空气作动力介质;③机械作用式冲击器,利用某种机械运动,在钻具回转时产生冲锤上下的动作。这些机械可以是电机、电磁装置,也可以是涡轮或特种机构(如牙嵌离合器)等。这 3 类中比较成熟的是液动和气动两种。在勘探中液动冲击器较多。液动冲击器有无阀式和阀式两大类型。阀式冲击器又可分正作用、反作用和双作用 3 种类型。无阀式分为射流式和射吸式两种类型。这两种冲击器是我国首创的,性能良好,得到迅速推广应用。

一、冲击器及其工作原理

1. 阀式正作用液动冲击器

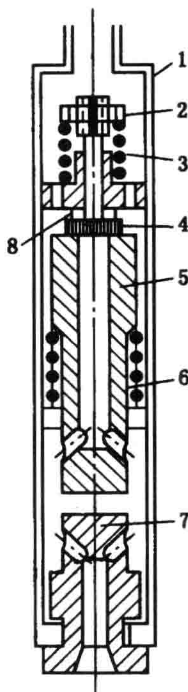
阀式正作用液动冲击器以液压推动冲击锤下行进行冲击,用弹簧恢复其原位特征的称为正作用液动冲击器,其工作原理如图 5-2 所示。

冲锤活塞在锤簧(回动弹簧)的作用下处于上位。当其中心孔被活阀盖住,液流瞬时被阻,液压急剧增高而产生水锤(也称水击),则活塞和活阀在高压作用下一同下行,压缩阀簧与锤簧(闭阀启动加速阶段),当活阀下行到相当位置时,活阀被阀座限制,活阀停止运动并与活塞脱开。此时冲洗液可以自由地流经冲击器中孔至孔底,液压则下降。此后,活阀在阀簧作用下返回原位,冲锤活塞在动能作用下继续运行(自由行程阶段)。在冲程末端,冲锤冲击铁砧,冲击能量经铁砧、岩心管接头、岩心管等传到钻头(冲击阶段)。冲击之后,冲锤在锤簧的作用下弹回(回返行程阶段)。当活塞与活阀再次接触时,液流被阻止,又产生液压水击,上述工作阶段周而复始。

2. 无阀式射吸液动冲击器

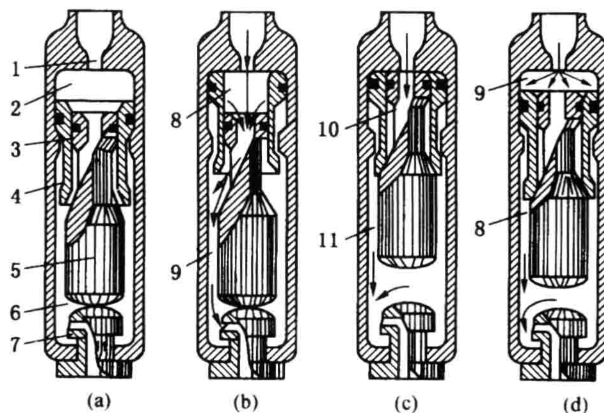
SX—54Ⅲ型射吸式冲击器结构简单,是我国首创的一种新型液动冲击器(如图 5-3 所示)。该冲击器利用高压液流喷射时的卷吸作用,使阀与活塞、冲锤的上下腔产生交变

压力差,从而推动冲锤活塞往复运动。阀与活塞的回程和冲程均由液压推动。



1－外壳;2－活塞座垫圈;3－阀簧;4－活塞;5－冲锤活塞;6－锤簧;7－钻砧;8－缓冲垫圈

图 5-2 阀式正作用液动冲击器工作原理图



a－未送水时的起始状态;b－送水时的起始状态;c－举锤时的回程状态;d－冲程开始

1－喷嘴;2－上腔;3－活塞;4－阀;5－冲锤;6－下腔;7－砧子;

8－低压腔;9－高压腔;10－产生水击区;11－降压区

图 5-3 SX 一 54Ⅲ型射吸式冲击器工作原理图

(1)回程　启动前,冲击器的阀与冲锤活塞均处行程下限,液流通道畅通,如图 5-3(a)所示。启动时,工作液体从喷嘴喷出,高速射流的卷吸作用将活塞上腔介质抽往下腔,腔迅速降压;进入下腔液流,由于通道扩大,流速减慢和冲击器砧子里节流孔的增压作用,使活塞下腔压

力升高。上、下腔形成压差，使位于行程下限的阀与活塞同时上行；由于阀的质量较轻，运动速度快，先行到达行程上限，如图5-3(b)所示，随后活塞也抵达行程上限，至此回程结束，如图5-3(c)所示。

(2)冲程　当活塞上升到上限时，与活塞连成一体的冲锤顶部锥体（阀座）与阀结合，如图5-3(c)所示，高速液流被迅速切断而产生水击，上腔压力猛增；与此同时，活塞下腔的压力急剧下降。故上、下腔间压力差推动活塞迅速向下运动，如图5-3(d)所示，阀抵达行程下限后，活塞因惯性继续向下运动（自由行程）直至冲击砧子为止。此时，阀门完全打开，液流畅通，阀与活塞又进入下一循环的回程。如此周而复始地产生冲击。

二、冲击回转钻进钻头

冲击回转钻进时，由于钻头的碎岩方式不同于纯回转或纯冲击钻进，因此，冲击回转钻头的结构、材质具有如下特点：①冲击回转钻进时，钻头刚体要承受冲击荷载、轴向静载和回转转矩的作用；因此，钻头刚体材料的强度要高于回转钻进钻头，通常采用40 Cr、45 CrNi合金钢；②作为取心用冲击钻头，其壁厚较回转钻进取心钻头厚，液动冲击回转钻头壁厚一般为10～20 mm，钻头体的长度较长（可达140 mm）；而气动冲击回转钻头壁厚更大或多采用全面钻进型的钻头；③钻头体的外形多呈多边形，以增大通水、通气面积；④为了使钻头切削具能承受较大的冲击荷载，多采用YGl5硬质合金切削具或采用粗粒的YGllC和二元硬质合金（加入0.5%的TaC），切削具的形状多采用圆柱状、大八角状、短片状、楔片状和球齿形状，切削具的出刃形式多为平底形，且出刃量较大。

冲击回转钻进钻头的主要类型主要有：

1. *液动冲击回转钻头*

取心式硬质合金钻头分为：①普通大八角硬质合金钻头，有带肋骨和不带肋骨两种形式（如图5-4所示），适用于钻进5～8级中硬岩石；②长片状肋骨式合金钻头（如图5-5所示），适用于大冲击功低频率液动冲击器钻进中硬岩层；③异形硬质合金钻头（如图5-6所示）的特点是利用异形截面钻头体，以增大液流过水断面，减少流阻背压和岩心堵塞，此钻头适用于钻进5～7级中硬岩不带肋骨大八角钻头、带肋骨大八角钻头石。

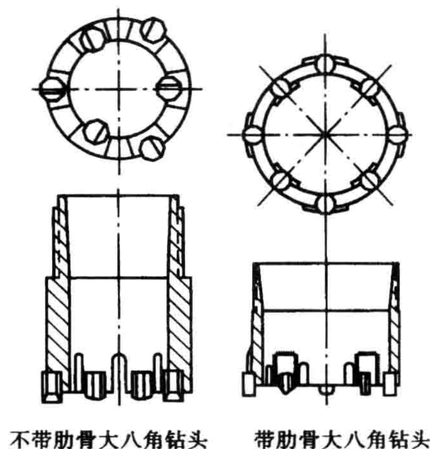


图5-4　普通大八角硬质合金钻头

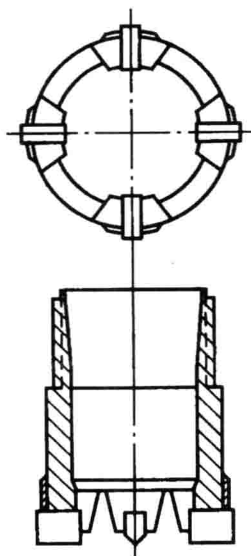


图 5-5　长片状肋骨式合金钻头

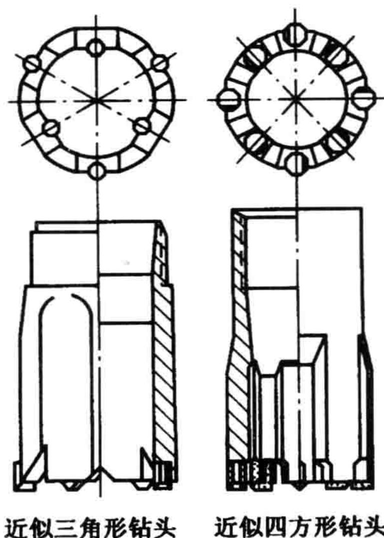


图 5-6　异形硬质合金钻头

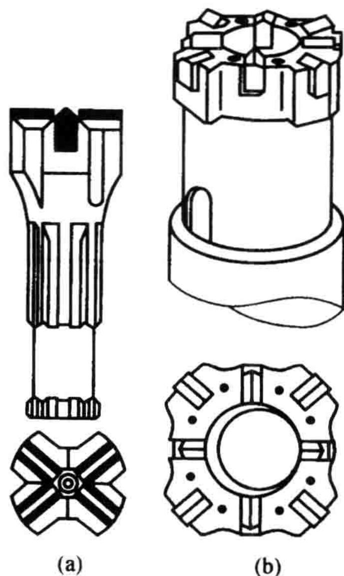
2. 取心金刚石钻头

金刚石液动冲击回转钻进的主要特点是高频率、小冲击功，所配备的钻头要能钻进坚硬及打滑岩层。

3. 风动冲击回转钻进用钻头

风动冲击回转钻进用钻头，按用途分为取心式和不取心全面钻进钻头。目前使用较多的是不取心全面钻进钻头。按采用的齿形可分为：

(1)片齿钻头　钻头齿为硬质合金片(如图 5-7 所示)。



a－X 型片齿钻头；b－大口径钻进用的片齿钻头

图 5-7　片齿风动冲击回转钻头

(2)柱齿钻头　根据柱齿端部形状的不同,可分为平头型和球齿型。由于后者采用较多,故柱齿型钻头通常称为球齿型钻头(如图 5-8 所示)。

(3)柱片混镶钻头　这类钻头是一种全面钻进钻头(如图 5-9 所示)。

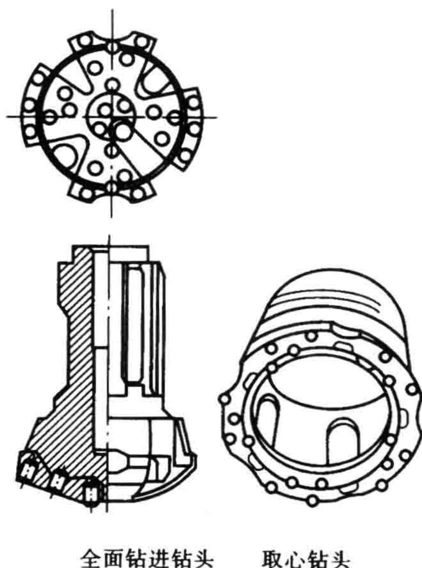


图 5-8　柱齿型风动冲击回转钻头

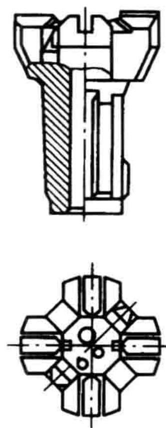


图 5-9　柱片混镶气动冲击回转钻头

第三节　冲击回转钻进设备及附属装置

一、液动冲击回转钻进设备

1. 钻机

以硬质合金磨料为主进行冲击回转钻进时,要求钻机增加低速挡。无低速挡的钻机可在钻机的输入轴处添加一个减速装置(自制减速箱或用汽车变速箱),使钻具的回转转速降低。

采用减速箱变更钻机的回转转速时,减速箱应有两个速挡。其中一个速挡要保持钻机原有的回转转速,以便用于升降钻具和钻进较软岩层的需要;另一个是减速挡,使钻机的回转转速增加一个低转速区,在该转速可获得 20 ~ 80 r/min 的几个不同转速,用于钻进较硬的岩层。

进行金刚石冲击回转钻进时,所用的钻机要具有高转速的性能。

2. 水泵

水泵是冲击器工作的主要动力源。为了保证冲击器能发挥有效的作用及尽量减少修理时间,一般要求水泵达到下列性能:

(1)泵压为$(4 \sim 6) \times 10^6$ Pa 时,水量达 2.5 ~ 3.33 L/s;

(2)强度大,不易损坏,密封性好,排量均匀、稳定;

(3)能长时间持续在高压状态下进行工作;

(4)根据需要可进行多级变速或无级变速,以改变泵压和排量。

3. 动力机

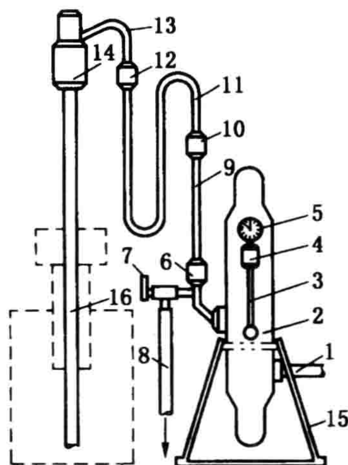
钻机可用原配套型号的动力机。水泵的动力机需增加功率。浅孔时用 20 ~ 22 kW 动力机,深孔时用 30 kW 的动力机。

二、附属装置及工具

由于冲击回转钻进有其自己的特点,除了一般常规钻探方法所用的附属工具和用品外,还应新增一些附属装置、工具及用品,如:

1. 稳压罐

目前所用水泵的空气室容积较小,不能消除排量不均匀性,保持液压冲击时的稳定性,所以在水泵的输出管与高压胶管之间需要安装一个稳压罐装置(如图 5-10 所示)。



1 – 水泵输出管;2 – 稳压罐主体;3 – 压力表软管;4 – 压力表缓冲器;5 – 压力表;
6 – 过滤网;7 – 开关;8 – 回水管;9 – 稳压冲水管;10、12 – 高压胶管接头;
11 – 高压胶管;13 – 弯头;14 – 水接头;15 – 机上钻杆;16 – 水管

图 5-10 稳压罐安装部位示意图

稳压罐可用直径为 146 mm 或更大直径的无缝钢管制作。要求耐压能力在 1×10^7 Pa 以上,容积应大于 0.05 m^3。

2. 砂轮机

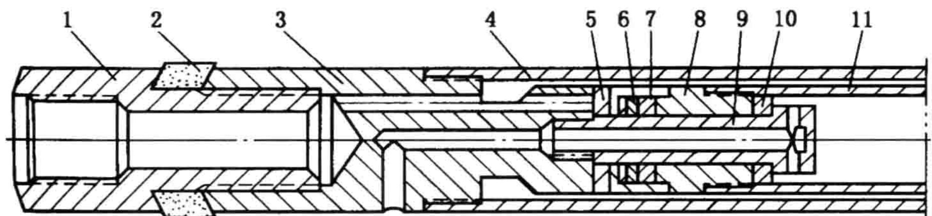
用硬质合金钻头进行冲击回转钻进时,为修磨硬质合金,生产现场需配一台碳化硅砂轮机。砂轮片直径为 200 ~ 250 mm. 砂轮粒度为 60 ~ 100 网目,砂轮的线速度以 20 ~ 25 m/s 为宜。

3. 分流器

为了解决金刚石冲击回转钻进时,冲击器所需要的冲洗液量大与孔底金刚石钻头所

需要的冲洗液量小之间的矛盾,在冲击器的下部应装置一种可进行调节入孔底冲洗液量的分流器。

QWF－1 型分流器的结构如图 5-11 所示。由冲击器排出的液流一部分通过钻头流到外管间隙,另一部分则经卡簧座的下部流入内管中,上返至分流接头孔,泄出管外。这样,一方面可减少流在孔底的阻力和对金刚石钻头的强力冲蚀,另一方面由内管中上返的液流对其岩心将产生一种向上移动的推力,此推力有助于减少岩心堵塞的机会。



1－异径接头;2－耐磨圈;3－岩心管接头;4－外管;5、10－垫圈 6－护罩;
7－推力轴承;8－内管接头;9－钉轴;11－内管

图 5-11　QWF－1 型分流器

4. 高压胶管

由于冲击回转钻进时所需要的泵压较高,用一般的高压胶管很容易爆裂;所以需用钢丝编制 2 层或 3 层的、耐压在 800 kPa 以上的高压胶管。

三、管材

1. 钻杆

为了减少高压液流沿途的压力损失,在可能情况下尽量选用内径较大的钻杆。为了防止钻杆接头丝扣处漏水,降低冲击器的工作性能,在接头丝扣处应采取密封措施。

2. 岩心管

为了提高岩心管的抗弯强度(刚性)和增强耐磨性,应进行高频表面淬火。岩心管经高频表面淬火处理后,不但能增强耐磨性和抗弯强,成倍的延长使用寿命,大量节省钢材;而在冲击回转钻进中,它还有一个很重要的意义,即是当岩心管刚性增加后,可以减少冲击传递效率的损失。

四、风动冲击回转钻进的设备

风动冲击回转钻进的主要设备有钻机、风动冲击器、空气压缩机。

钻机按钻进对象不同有所区别,如:水井钻进多采用长行程动力头钻机;地质勘探孔钻进时,多把主轴式钻机设计为低转速,有时也直接采用长行程无级变速的动力头式复合钻机;在大口径工程钻施工时,常使用起重机式打桩机;此外,如矿山爆破孔钻进、滨海钻进等均有不同形式的专用钻机。

空压机是风动冲击回转钻进的另一主要设备,它为风动冲击器提供动力并是清洗孔底的风源。常用的空压机型号及技术参数如表 5-1 所示。

表 5-1 适用于地质勘探用空压机型号及技术参数

型号	风压/MPa	风量/(m^2/min^{-1})	动力机			
			型号	转速/(r/min^{-1})	功率	质量/kg
LGYⅡ -12/7	0.7	12	6135AK-1	1500	150HP*	—
LG16-20/5-15D	1.5	20	JO_3—28654ID_2/T_2-W	1480	90kW	—
LGY25/20—20/25	2.5	20	12V150—4	1800	500HP*	约 4000

*1 英制马力(HP)=0.745 kW。

风动冲击回转钻进的附属装置有除尘器、泡沫混合器及注射器等。

第四节 冲击回转钻进规程

一、液动冲击回转钻进规程

1. 钻具转速

进行冲击回转钻进时,钻具回转转速的高低,主要根据所钻岩石的性质、所用磨料的种类以及冲击器冲击功的大小和冲击频率的高低等因素进行确定。

以块柱状硬质合金为磨料的钻头,钻进硬岩层或钻进强研磨性岩层时,由于破碎岩石的主导作用是冲击载荷,所以钻具的回转转速应在 20 ~ 80 r/min 之间。所钻的岩石越硬,其钻具的回转转速应越低。

实践证明,如果钻具的转速过高,不但会使冲击间距大,降低破碎岩石效果和崩坏硬质合金,而且随着钻头圆周速度的提高,硬质合金与岩石进行摩擦的里程增加,也将迅速磨损切削具,其结果将大幅度地降低回次进尺长度。

钻进较软岩石或钻进裂隙发育的岩石时,由于冲击破碎岩石的作用并不大,而是以回转切削破碎岩石为主,所以应提高钻具的转速,转速一般可在 80 ~ 300 r/min 之间。

根据生产实践经验,钻具转速的选取如表 5-2 所示。

表 5-2 钻具转速的选取范围

岩石级别	4 ~ 5	6 ~ 7	8 ~ 9	10 以上
钻具转速/($r \cdot min^{-1}$)	300 - 90	90 ~ 50	50 ~ 30	30 ~ 20

选择钻具转速除考虑上述所说的岩石性质外,还要考虑冲击器的性能状况。冲击器的冲击功较大时,可适当地提高钻具转速;反之,应降低钻具的转速。同样,冲击器的冲击频率较高时,钻具的转速也应适当增加;反之,应适当降低转速。

为什么冲击频率高时应提高钻具的转速,而冲击频率低时应降低转速呢?从下述情况中,可看出它们之间的关系。

冲击回转钻进时,钻头上的每一颗硬质合金由于同时受回转的作用在完成第一次冲击破碎岩石后,便移动一段距离,进行第二次冲击破碎岩石。硬质合金两次冲击之间的距离为冲击间距(S)。

计算可知,冲击间距(S)的大小是与冲击频率的高低和钻具回转转速的快慢有着密切关系的。

岩石越硬,其抗破碎阻力越大,越容易崩刃和磨损硬质合金,所以冲击间距(S)应该小一些。钻进硬岩层时,应该采用较低的转速。

各种岩石都有它的最优冲击间距值,根据生产实践经验,$S=5\sim8$mm,一般可钻性为6~7级的岩石;$S=10\sim15$ mm,可钻性为7~8级的岩石;$S=8\sim10$ mm,可钻性为9~10级的岩石。

进行针状硬质合金钻进时,钻具的转速不应低于200 r/min,一般为200~300 r/min。进行金刚石冲击回转钻进时,为了充分发挥金刚石磨削破碎岩石的作用,以提高钻进效率,钻具的转速应在600 r/min以上。

2. 钻压

液动冲击回转钻进钻头上施加的轴向压力有两个方面的作用。一是在岩石中造成一定的预加应力以及回转时切入岩石,以提高破碎岩石的效果;另一个作用是克服冲击器工作时所产生的反弹力,以减少冲击能量的传递损失。

钻进较软岩石时,由于岩石的抗破碎强度较低,基本上是以回转剪切作用为主进行破碎岩石。为充分发挥回转切削岩石的作用,应采用较大的轴向压力。一般可控制在800 N左右。

钻进较硬岩石时,由于岩石的抗破碎强度较高,基本上是以冲击载荷的作用进行破碎岩石。故所采用的轴向压力应小一些。一般可控制在4000~6000 N范围之间。

如果所施加轴向压力过大,不但会造成硬质合金过早磨损,甚至会产生崩刃或崩脱,导致钻进效率降低;但压力也不宜过小,过小的压力不能克服冲击器所产生的反弹力,将降低冲击能量的传递效率,同样也会降低钻进效率。

所以选择轴向压力时既要注意瞬间的钻速,又要注意整个钻进过程中的平均小时效率。

3. 泵量与泵压

由于冲击器是以高压液流为动力,推动冲锤进行工作。所以,冲洗液不仅是为了冷却钻头和冲洗岩粉,而且对冲击器的工作性能也有决定性影响。它直接影响冲击频率的高低和冲击功的大小,即随着泵量的增加,冲击频率及冲击功也相应得到增加。

只要地层允许(冲洗液上返流速不大于所钻地层的要求),水泵工作性能正常,就要尽量满足冲击器工作时的水量。同时还应加大一部分泵量,以补充管路各接口处的泄漏损失。

从目前我国常用的冲击器结构及口径两个方面因素来看,正作用冲击器及双作用阀式冲击器一般所需要的泵量为1.34~2.5 L/s,双作用射流式冲击器一般需要的泵量约为3.34 L/s。

泵压除克服冲击器及管路沿程的阻力损失外,还应满足冲击器的工作需要。液动冲击器只有在一定的泵压条件下才能启动,当达到一定的泵压范围才能发挥其有效的冲击

作用。同样,随着泵压的增加,冲击器的冲击频率及冲击功也相应得到增加。

从目前所用的冲击器结构来看,正作用冲击器和双作用阀式冲击器,一般需要泵压在1.47~2.45 MPa。双作用射流式冲击器,一般需要泵压在2.45~3.92 MPa。同时应随着钻孔的延深,管路沿程损失的增加,应相应增加水泵的压力(一般每百米需增加0.294 MPa泵压)。

4. 净化冲洗液

液动冲击回转钻进所用的冲洗液,应根据地层情况进行选择。钻进完整或比较完整地层时,可用清水钻进;钻进复杂地层时,为了保护孔壁、减少冲洗液的漏失以及增加排粉能力,可用分散性泥浆、不分散性低固相泥浆或无固相冲洗液为冲洗液进行钻进;进行金刚石冲击回转钻进时,应用润滑冲洗液进行钻进。

不论使用那种冲洗液,为了防止大颗粒岩粉及其他杂物堵塞冲击器的水路或卡塞冲击器的运动部件,造成工作失灵,以及为了延长冲击器的使用寿命,进行冲击回转钻进时,尤应加强冲洗液的管理和净化处理工作。

目前常用的净化冲洗液方法有地面循环系统重力沉降法、过滤法和水力旋流除砂法3种。

二、风动冲击回转钻进规程

风动冲击回转钻进的主要钻进规程参数是钻进时的风量、风压、钻压及钻头回转速度。

1. 风量与风压的选择

(1)风量选择　气动冲击回转钻进的风量大小直接影响清除孔底的效果。在环隙一定的条件下,风量越大,环隙间气流上返的速度也越大,岩屑上返的能力越强,清洁孔底彻底,钻进效率越高;但是风量过大,会引起沿程压力损失和能源消耗增大,并可加剧对孔壁的冲刷。

与常规回转钻进相比,冲击器冲击回转钻进所产生的岩粉颗粒较大。同时,由于气动冲击器钻进速度高,空气的密度又小,空气作介质较水(或泥浆)作介质,携带岩粉所需的上返流速自然要大些。根据国内外风动冲击器钻进的经验,干孔条件下上返风速一般为15~20 m/s。

空压机的风量除应满足排粉的需要,还应满足冲击器的性能要求。在冲击器工作时,气体从冲击器中排出,压力由高变低,气体则产生膨胀,体积增大。这时如果井底岩粉聚集过多便会阻碍钻头唇部周围的气体膨胀,导致气流速度和排粉能力降低,从而限制了冲击器设计能力的发挥。特别是当孔内潮湿时,岩粉形成松散的粉块,使气体难以通过,甚至中断排粉。这种情况下,冲击器则要求有更大的风量才能工作。

(2)工作风压　一般冲击器的额定风压为0.5~0.6 MPa。空压机的工作风压主要是由各种阻力损失叠加而成。随着孔深、岩粉含量的增加,风压增大。有时为了增大冲击器的冲击功,把冲击器的内管减小,这时作用在冲击器上的有效压差增大,整个管路系统的风压也增大。风压是风量的正比例函数,当风量增大时,风压也随之增大。在空气

钻进中,风量可作为独立的钻进参数,风压一般不作为独立的钻进参数。对于空压机系统来讲,空压机的功率是一定的,所需的输出压力较大时,输出风量就减小。当钻孔较深或钻孔遇地下水时,所需风压较大,而空压机所能供给的风量却较小。

2. 钻压的选择

气动潜孔锤钻进中,钻压的作用是保持孔底钻头与岩石的紧密接触,钻压过大并不能增大钻速,反而可能增大钻头的磨损,不能达到有效破碎岩石的目的。

3. 钻头的回转速度

钻头的回转速度对顺利钻进和延长钻头寿命有直接的关系。合理的回转速度应保证冲击刃(如球齿)在每经过一次冲击后能落在新的岩面上。钻头外缘上的齿对回转速度特别敏感,若回转速度过慢,钻头外缘上的齿将重复冲入先前冲击过的坑穴中,从而引起钻头不稳定,使回转受阻,造成重复破碎,钻进效率下降。若钻头转速过快,钻进效率并不增加,反而会引起钻头齿的过快磨损。钻头的转速也应与风量相匹配,风量大时,冲击频率较高,因而转速也应相应提高。

第五节　冲击回转钻进操作注意事项

按钻进过程的工作程序,将各个环节部分的操作注意事项分述如下:

1. 下钻前的准备工作

(1)组装、拆卸及检查冲击器　①应按冲击器说明书规定的尺寸、要求及装配方法进行装配,要保持各活动部位运动自如,没有受卡及受阻的现象;②组装冲击器时,要注意各部位的密封圈、密封垫的密封性能,以防由于密封不严泄漏冲洗液,降低冲击器的工作性能;③组装双作用活阀式冲击器时,除要检查各个弹簧是否有损坏的情况外,还要注意检查、调整好各部位的间隙;④组装双作用射流式冲击器的射流元件时,要对准各个销钉,以使水路畅通;⑤装配冲击器的活塞时,应注意活塞在缸体内的松紧程度,过紧或过松,对冲击器的工作性能都有较大的影响。一般以可轻松的抽动即可;⑥清洗过滤筒(网)中的岩粉及杂物;⑦组装或拆卸冲击器时,钳子口应在接头或阀壳切口处,防止夹坏冲击器的外管;⑧组装粗径钻具时,要扭紧各部位的连接丝扣以减少冲击能量的传递损失,尤其是钻进硬岩地层时,更应注意此点;⑨组装冲击器时,应在各个活动部件处涂抹黄油,以防生锈。

(2)每个钻孔所用的钻头应尽可能一次备齐,以便进行分组排队使用。

(3)认真检查水泵压力表是否灵活,如有问题,应及时进行修理或更换。

(4)准备好备用的钻杆接手和密封胶圈。

(5)每个施工机台都要配有几种不同长度的岩心管,以便根据所钻岩石的性质进行选用。

(6)进行冲击回转钻进时,由于所需要的泵量及泵压均较回转钻进时高,加之冲击载

荷的影响,水泵所受的振动较大;所以必须将水泵牢固地固定在机台木上。

(7)采用正循环钻进时,冲击器的下部应装有逆止阀(特别是在深孔作业或孔内岩粉较多时),以防岩粉进入冲击器,卡塞运动部件,造成启动困难,甚至不进行冲击或加速磨损零件等。

2. 下降及提升钻具

(1)下降新的(或经过调整、检修)冲击器时,应在孔口进行压水冲击试验检查。如发现冲击器工作不正常或水泵压力异常时,应放倒钻具进行检查、调整、修理或更换。待确认工作正常后,方可下入孔内。不得勉强下孔,不标准使用。

(2)下降钻具时操作要稳,中途遇阻需要扫孔时,可采取转动钻具或上下窗口串动钻具等措施进行处理,严防猛墩强行通过。如果采用上述措施处理无效时,可开泵送水启动冲击器进行冲击,边冲击边回转(指硬质合金钻头钻进时)进行处理。但应轻压慢转,并勤提钻具。同时要用提引器将钻具挂牢,以防发生跑钻事故。

(3)在下降钻具过程中,要认真检查钻杆接手丝扣及密封胶圈的密封状况。如果发现钻杆接手已磨损严重或有裂纹,以及密封胶圈损坏不合格时,应及时进行更换。

连接钻杆时要拧紧钻杆接头丝扣,以免泄漏冲洗液影响冲击器的工作性能。

(4)下降钻具当粗径钻具拉至孔口,或提升钻具当粗径钻具升至孔口时,要有专人进行扶正,并缓慢下降或小心取出粗径钻具,以防钻头碰撞拧管机或孔口管遭受损坏。

(5)提升钻具要稳。中途遇阻时,可采取拧动钻具并上下串动的措施进行处理,严禁猛拉强力提升,以防将钻具卡于孔内。如果拧动或串动无效时,可低速回转进行活动钻具。

3. 钻进过程中应注意的事项

(1)下钻距孔底0.3 ~0.5 m时,可开泵送水并采用“轻压、慢转、低能量冲击”进行扫孔,扫到孔底后证明冲击器工作正常时,再改换正常的参数进行钻进。

(2)钻具下到孔底后,要逐渐增加水量和逐步提高水泵的压力,以防损坏水泵零件和高压胶管。

(3)钻进时要注意观察水泵压力的变化,并根据压力表的变化异状及时判断孔内情况。遇到下列异常状态时应及时提钻检查:①压力表指针突然增高,经提动钻具或反复变更水量无效时(可能是由于冲击器水路受阻或岩心堵塞所致);②压力表突然降低,但经过检查不属于水泵故障时,可能是由于钻具折断所致。

③进尺突然变慢或不进尺,经反复调整水泵压力、水量或变更钻进参数仍无效时,一般是由于冲击器发生故障后,工作性能降低或不工作,如过滤筒被堵塞,冲洗液不畅通,活塞皮碗或其他密封件损坏,逆止阀下部被岩粉淤塞造成逆止阀不能下移,水路不畅通,钻杆中堵塞或漏水致使冲击器不工作或冲击间断,以及钻头严重损坏所致。

(4)由于冲击回转钻进时,不能投送卡料,所以需要用卡簧卡取岩心。卡簧的内径要比钻头的内径小0.3 ~0.5 mm。

(5)在破碎岩层中钻进时,为了确保岩心采取率达到规程要求,应在冲击器与岩心管

之间加装反循环钻具(或接头),进行孔底局部反循环钻进。需要时也可采用双管钻进。

(6)钻进过程中,如果遇到轻微坍塌,掉块,发生卡、埋钻事故时,可在提动钻具的同时继续送水,使冲击器产生振动冲击作用,进行排除。

(7)要根据不同岩层选择适应的钻进工艺参数及冲击间距。特别是钻进较硬岩层时,尤应注意。

(8)要根据所钻岩层情况随时修磨硬质合金的刃角。其原则是:钻进硬岩层时,刃角要大于100°;钻进软岩层时,刃角要小于100°;对刃角或内、外、底出刃不符合要求的钻头,要及时进行修磨。合金底平面刃宽磨损大于1.5 mm的,也应及时进行修磨,不可不符合标准使用,以免损坏软质合金或影响钻进效果。

硬质合金的刃角应磨成"一"字形,但不要磨得很锋利,应有0.3~0.5 mm的"钝面"(又称老刃)。刃角的两外侧端需要磨出半径为0.5~1 mm的圆倒角,以改善刃部边界应力的分布状况,防崩坏硬质合金。

修磨硬质合金之前,要认真检查砂轮片的磨损情况。如发现有严重裂纹或缺口时,应及时进行更换。

修磨硬质合金时,要轻压慢磨,以免由于产生高温,降低合金性能或损坏砂轮片。同时,操作人员要避开砂轮片的运动方向,以防砂轮片破裂后伤人。

当采用干磨时,为防止硬质合金局部烧伤和产生热应力,可采用间断磨削的方法,如使用清水进行冷却时,要有足够的流量。同时在修磨过程中,要保持冷却液不间断。

(9)孔内掉入异物或大颗粒硬质合金碎块、金刚石钻头胎体碎块以及金刚石颗粒时,要及时捞取,否则将会给下一回次钻进造成损坏钻头的机会。

(10)浅孔钻进时,可开车进行倒杆,钻进破碎裂隙发育地层或深孔扫孔以及深孔钻进时,应停车进行倒杆,并用提引器将钻具吊紧。开车时还要将钻具提高孔底一段距离,以防损坏钻头。

(11)发现水泵的泵量或泵压不足时(如皮碗损坏、塞线不足等),应及时进行修理,不得勉强进行工作。

(12)注意及时清除孔底岩粉。冲击回转钻进所产生的岩粉颗粒较小,同时由于钻进速度较快,每个回次所产生的岩粉量较多。如不及时清除,将会产生下列弊病:①造成岩粉重复破碎,影响钻进效率;②容易造成卡、埋钻事故;③水泵压力增高引起胶管破裂。

(13)使用各种间隙配合的冲击器时,每工作24 h后,都要检查其间隙有无变动。如有变动应予调整,以保证冲击器的工作性能。

(14)暂时不用的冲击器应擦洗涂油封存。

复习思考题

1. 冲击回转钻进的实质是什么?
2. 简述冲击器及其工作原理。
3. 简述风动冲击回转钻进规程的主要内容。
4. 冲击回转钻进操作主要应注意什么?

第六章　反循环钻进

第一节　概　　述

随着生产和科学技术的发展，人们对钻孔直径的要求越来越大，如何解决钻进中取心和排除孔内大量岩粉就成为突出的问题。20 世纪 50 年代初，国外最早采用泵吸反循环钻进方法，使钻进效率提高 2～15 倍，钻进成本大幅度降低。这一成果发表后，引起世界各国的重视，现在反循环钻进方法已为世界许多国家广泛采用，取得了显著的经济效益。

我国从 20 世纪 70 年代初开始研试大口径反循环钻进方法，并取得了钻速高、成本低、操作方便等较好的效果。

反循环钻进是指循环介质从钻杆与井壁间的环状间隙进入孔内，而从钻杆内返回孔口的一种钻进工艺。由于它与传统的循环路线（从钻杆内进入孔内，从环状间隙返回孔口）相反，故称“反循环”，也称“逆循环”。

1. 反循环钻进的特点

（1）反循环钻进钻杆内孔截面比钻杆与孔壁间的环状截面小得多，因此，钻进中冲洗液上升速度很高。据计算，当钻孔直径为 500 mm 时，采用反循环钻进，钻杆内冲洗液上升速度很容易达到 2 m/s。而采用正循环钻进，用 BW－600/30 型泥浆泵，其冲洗液上返速度仅有 0.053 m/s。由于冲洗液上返速度高，钻进时排粉能力强，孔底干净，避免重复破碎，因而提高了钻进效率，成本低。特别是当钻孔直径增大时，钻进费用增加得很少。

（2）反循环钻进，岩心和钻下来的岩粉，由钻杆内孔返回地面，因此要求钻杆内孔要大，一般多采用内径 150～200 mm 的钻杆，以通过较大的卵砾石。当地层有大卵砾石时，必须采取措施以防循环回路堵塞，使钻杆中断。

（3）反循环钻进时，孔内经常保持较高的水位，故可利用高水位的静压力与地层压力平衡，保持井壁稳定。采用反循环钻进在一般地层中均可采用清水钻进，从而降低成本，提高钻孔质量。

（4）反循环钻进是一种连续取心的钻进方法，钻头使用寿命长，起、下钻次数少。与正循环钻进相比，减少了辅助时间，降低了劳动强度。

（5）反循环钻进孔内水位高，静压力大，在钻进中冲洗液有一定的漏失。因此，钻进时不断向孔内注水，钻进用水量大，必须有充足的水源和专门的供水措施，以保证钻进工

作顺利进行。

2. 反循环钻进的分类

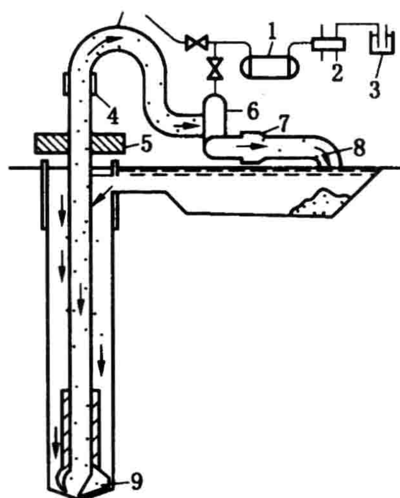
反循环钻进按照产生冲洗液上升流动的方式不同可分为泵吸反循环、气举反循环和射流反循环。不同反循环钻进方式,随着钻孔深度的变化,钻进效率也有所不同。在选择反循环钻进方式时,应根据孔深、水位等情况进行合理地选择。为了提高钻进效率,有时也采用两种方式相结合的复合式反循环钻进。

第二节　大口径反循环钻进

一、泵吸反循环钻进

泵吸反循环钻进(如图 6-1 所示)是利用离心泵或轴流泵的抽吸力量,使钻杆内的液体上升的一种管路布置方式。泵的进水管与钻杆的提引水接头连接,并通过钻杆将深吸入口下到井底,井内冲洗液经钻头(亦可看成泵的吸入口)携带岩屑经钻杆上升,由水泵出水管排到水源地。

泵吸反循环钻进前,由于水位以上的钻杆内没有冲洗液,在启动水泵前必须进行引水。泵的启动方式有两种:一种是利用真空泵的吸力,使水泵吸水口至水位以上管路内产生负压,从而使钻杆内水位抬高,使冲洗液充满整个水泵的吸水管路,这是启动水泵,即能造成连续反循环。另一种启动方式是配一台注水用的副泵,开动副泵给主泵灌水,当主泵进水管注满水后,再开动主泵。在钻进中副泵可以用来处理堵钻等事故。



1 – 真空包;2 – 真空泵;3 – 冷却水容器;
4 – 水龙头;5 – 转盘;6 – 抽吸泵;
7 – 单向阀;8 – 排出口;9 – 钻头

图 6-1　泵吸反循环示意图

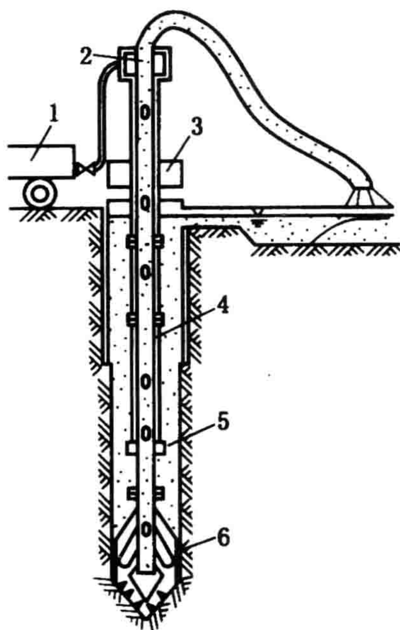
泵吸反循环所用的离心泵流量一般为 240 ~500 m^3/h,其有效吸水力为 6×10^4 ~7×10^4 Pa。因此,它适合于地下水位较浅,渗透性较小的地层中使用,在 50m 以内时钻进效率较高。随着孔深的增加,钻进效率逐渐下降,较合理的钻进深度一般为 100 ~120 m。当井内漏水严重时,容易产生井内动水位降低而超过水泵的有效吸程,使水泵抽空。

泵吸反循环钻进,水泵的工作条件很差,钻孔内所排出的岩屑(泥、砂、碎石),都要通过泵体流出,为适应能吞吐泥砂碎石的工作条件,水泵叶轮一般只有两个叶片,泵体内的液体通道直径较大,一般要大于钻杆内径,以便于输送较大颗粒的岩屑。

二、气举反循环钻进

1. 概述

气举反循环钻进是利用在压缩空气与钻杆内的冲洗液混合后,形成低相对密度的气液混合物,在压差作用下以高速向上流动,从而把孔底岩心和岩屑连续不断地带出地表,其管路布置如图 6-2 所示。



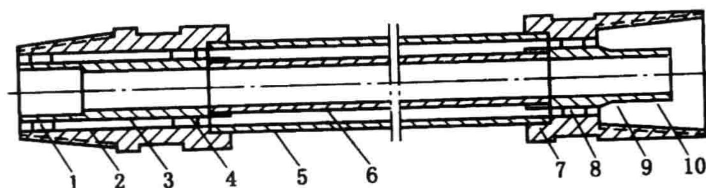
1 – 压风机;2 – 压气盒;3 – 转盘;
4 – 双层管道;5 – 混合室;6 – 钻头
图 6-2　气举反循环钻进示意图

气举反循环钻杆内水流上升的流速与钻杆内外液柱的相对密度差有关。当孔深增大后,只要相应地增加供气压力和气量,就能保持一定的钻进效率。与泵吸反循环相比,随着孔深的增加,排渣能力没有降低。因此,气举反循环钻进适用于深孔钻进。

另外,气举反循环钻进在孔内严重漏水,孔内水位大幅度降落时,仍能保持正常工作,是一种比较完善的连续取心方法,这不仅能取得全部的岩心,而且是边钻进,边取心,岩心很快被冲出地表,岩心在孔内停留时间很短。因此,受到破坏程度轻,岩心完整度好,纯洁度和代表性都较好,能够准确地反映岩层的结构。气举反循环冲洗液上返速度每秒可达 3 m 以上,孔内岩屑没有重复破碎的机会,钻头磨损少。因此,钻进效率高,钻头寿命长,钻探成本低。据国外资料介绍,在松散地层使用气举反循环钻进效率可达150 m/d,岩心采取率高,钻头总进尺达 300 ~ 450 m。

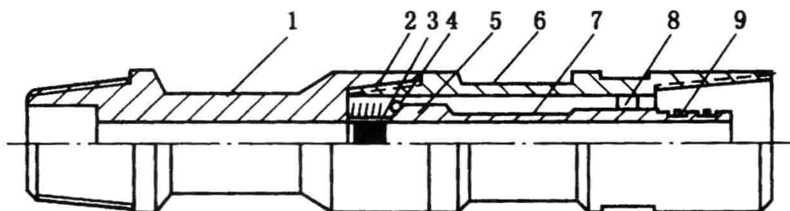
气举反循环钻进用的钻杆有两种结构:一种是外贴输气管钻杆,也称并列式钻杆,其采用法兰盘连接,在单层钻杆两侧安装有输气钢管,压缩空气通过该管送至孔内的混合室。因为,钻杆外壁可以同时对称贴附两根输气管,因而可以分别给不同位置的混合室送气而不需提出钻杆。另一种结构是采用同心式双壁自杆,结构如图 6-3 所示,其外观为螺纹连接,以传递扭矩和压力,内管为承插式内平,并有橡胶密封装置,压缩空气通过内外管间的环状间隙输送到混合室。双壁钻杆在孔内可以全部采用,也可以在一定的沉没深度内。采用双壁钻杆而下部连接普通单壁钻杆,这主要取决于空气压缩机性能及孔内水位等情况。我国试制的双壁钻杆规格为 Φ114 ~ Φ70 mm。

气举反循环钻进混合室结构如图 6-4 所示。上端接双壁钻杆,下端接钻头或单壁钻杆。钢球 4 的作用是停止送气,防止岩屑进入双壁钻杆的内外管之间,以免堵塞气道。



1－支撑块；2－公接头；3－内管外接头；4－支撑块；5－外管；6－内管；
7－母接头；8－支撑块；9－内管内接头；10－密封垫

图 6-3　双壁钻杆结构示意图



1－接头；2－弹簧；3－气孔；4－钢球；5－支撑块；
6－上接头；7－内管；8－支撑块；9－密封圈

图 6-4　气举反循环钻进混合室结构图

气举反循环、水混合室需有一定沉没深度，它无法应用于开孔钻进，孔深 30 m 以内的钻进效率也较差。气举反循环钻进时，一般都和地表喷射反循环钻进或正循环钻进相互配合使用，形成复合反循环钻进工艺。

2. 气举反循环钻进参数的选择

当不携带钻屑时，气举反循环这一装置称为气升泵或空气升液器，这是一个气液两相流问题，对于它虽然已有一些理论推导及解释，但很不完善，一些问题解释不了。气举反循环时利用空气升液器的原理（如图 6-5 所示）。但其中又增加了固相（岩屑），是一个气、液、固 3 相流的问题，就更为复杂。目前重要的是依靠试验定出一些参数。

气举反循环主要参数有：

（1）沉没系数（a） 沉没系数是气举反循环的主要参数，一般在洗井中要求 $a = 0.3 \sim 0.7$ 为宜。但在气举反循环中，则要求 $a > 0.3$。对钻井来说 $a < 0.3$，则效率太低，甚至不能排液。$a > 1.7$ 时工作状况将更好。

（2）尾管长度（L_w） 从气水混合器至钻头处吸水口的长度称为尾管长度（L_w），一般说 L_w 小，阻力亦小。经验表明：$L_w \leqslant 2 \sim 3$ 倍的混合室沉没深度为好。当 L_w 为其 4 倍时，就达到了极限值。

（3）空压机风量和压力 一般来说，目前所有厂家生产的空压机均能适应要求，其额定风量和风压越高越好。具体数值的计算很复杂，且不准确。

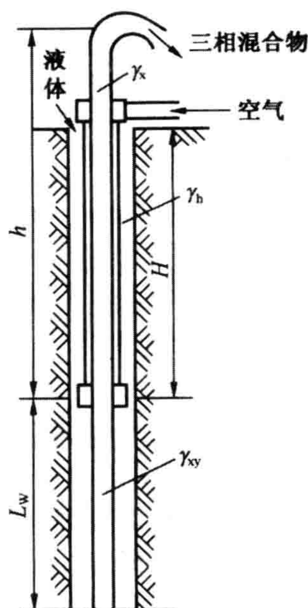
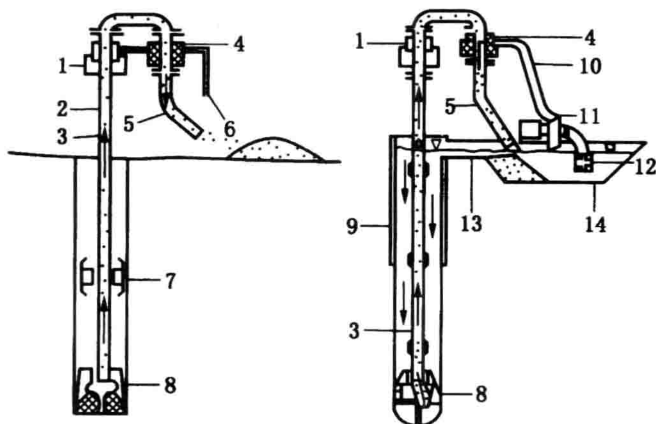


图 6-5 气举反循环工作原理图

三、射流反循环钻进

射流反循环钻进方法如图 6-6 所示，其钻进原理是利用水泵或压气机所产生的高速液流或气流，注入喷射腔内的喷嘴，产生高速射流，使喷嘴外围形成负压，其值可达 8 ×04 ~9×10^4 Pa。由于压差作用，使喷嘴产生抽吸作用。喷射器通过接头与特制水龙头连接，从而抽吸钻杆内的液体，使钻杆内水位提高，最后在喷射腔内与高压喷射流混合返回地表水源池内。在钻进中，钻杆内高速上升的冲洗液携带岩样和岩屑连续返回地表，故也称为反循环连续取样钻进。



1 - 动力头；2 - 上返流体；3 - 钻杆；4 - 射流泵；5 - 排渣管；6 - 压缩空气；7 - 导正器；
8 - 钻头；9 - 护孔口管；10 - 高压水管；11 - 离心泵；12 - 进水莲蓬头；13 - 泥浆槽；14 - 沉渣池

图 6-6 射流反循环钻进示意图

射流反循环所需泵量和泵压,决定于管路的布置情况和喷嘴的技术性能。泵压应能克服整个循环系统的摩擦损失和自钻机水接头至井内地下水之间液柱(岩屑浆柱)的压力,一般为 $7\times10^5 \sim 8\times10^5$ Pa。喷嘴一般多安装在特殊水接头的弯管端部,下接胶管,以将携带岩样的反循环冲洗液导流到水源池。

射流反循环钻进的功率损失较大,功率利用率较低,而且随着孔深的增加,排渣能力将逐渐下降,使钻进速度相应降低。当钻孔深度超过 50 m 以上时,使用地表喷射反循环钻进,其经济技术效果较差。

射流反循环钻进冲洗液的循环管路布置,要便于从反循环钻进改为正循环钻进,这对于处理埋钻、堵钻、开孔钻进以及孔内水位突然下降时,迅速向孔内补水较为方便,在排渣管处加一阀门就能实现。

射流反循环钻进,适用于第四系松散地层钻进,一般多与气举反循环钻进相互配合使用。浅孔时,用地表喷射反循环钻进,深孔时,用气举反循环钻进。

四、反循环钻进用的钻头

反循环钻进用的钻头主要应根据地层情况加以选择,常用的钻头有硬质合金钻头、组焊式牙轮钻头、刮刀钻头、翼片式钻头、三牙轮钻头等。所不同的是钻头中心应有较大的通孔,该孔应与钻杆内径相同,以便岩心或岩屑在反循环作用下由钻杆内排至地表。

反循环钻进多为第四系松散地层,故钻头的设计主要应考虑有利于岩屑上返。

(1)一般在细粒松散地层多采用三翼钻头,结构如图 6-7 所示。

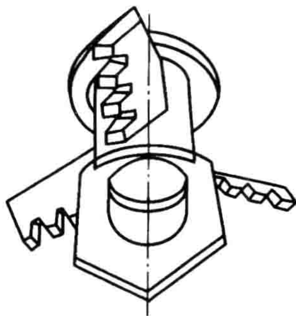
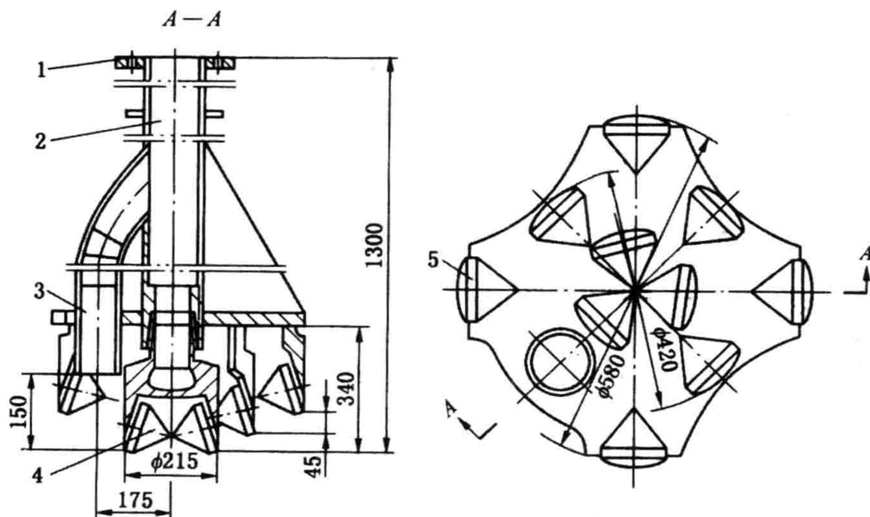


图 6-7　三翼钻头

(2)在卵砾石层钻进多采用组焊式牙轮钻头,如单吸口阶梯组合式牙轮反循环钻头(如图 6-8 所示)。

这种钻头以普通小径三牙轮钻头作前导,在平面刀盘(厚 30 mm、Q235 钢板)上安两个同心圆、3 个阶梯布焊 6 个单体牙轮。阶梯高差 30 ~ 50 mm,重叠系数 1.0 ~ 1.5。采用 127 mm 吸渣管,其底吸渣口偏心布置(约于半径 2/3 处)。钻头整体强度和刚度较大,加工方便。多环多刀,碎岩阻力小,效果好。适用于非固结性砂卵石层和中硬基岩层,钻头平均机械钻速为:砂砾石层 1.0 m/h,红砂岩层 0.72 m/h。



1－法兰盘;2－心管;3－吸渣管;4－三牙轮钻头;5－单牙轮

图 6-8　单吸口阶梯组合式牙轮反循环钻头

第三节　小口径反循环钻进

小口径钻进方法可分为两种,一种为反循环连续取心钻进,另一种为反循环连续取样钻进。这两种方法,都要采用双壁,驱动力都为水泵或空压机的压力。反循环连续取心钻进多采用清水或稀泥浆作为循环介质,取出的是一段一段的岩心。反循环连续取样钻进采用的冲洗介质多为空气或充气泥浆,取出的是破碎较粗的颗粒。

反循环连续取心(取样)钻进就是在不提钻的情况下,利用冲洗液反循环液流在钻杆柱内的上升力,将岩心连续不断地从孔底输送到地表,经过缓慢弯曲的导管进入岩心收集箱中。

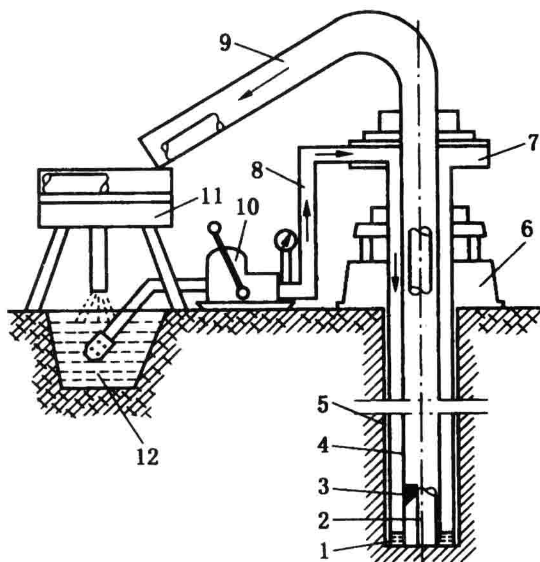
反循环连接取心(取样)是一种比较完善的取心方法,这不但能够取得100%的岩心,而且是在边钻进,边取心,能够准确地控制地层的埋藏深度,换层界限清楚,可以随时了解孔底岩性的变化,及时指导钻探施工。由于岩心形成后不久就被冲洗液携至地表,岩心在孔底停留时间短,受到破坏程度小,完整度、纯洁性和代表性都较好。实践证明,反循环连续取心(取样)不但能够采上完整、坚硬的岩心,而且能采上破碎、松散的岩心。由于钻杆柱与孔壁间隙小,这种方法可以利用于坍塌地层。

一、反循环连续取心钻进

1. 反循环连续取心钻进原理

如图 6-9 所示为水力输送岩心反循环连续取心钻进装置示意图。冲洗液由泵 10 经过专门水接头压送到双壁同心管柱的环状间隙中,并且在距孔底 20 ~ 30 mm 处,经过钻

头1进入内管4。冲洗液携带岩心和岩粉沿内管通道,再经水龙头7上行到排水管9,与岩粉一起流到岩心接收装置11。



1 – 钻头;2 – 岩心;3 – 卡断器;4 – 内管;5 – 外管;6 – 钻机;7 – 水龙头;8 – 进水管;
9 – 排水管;10 – 水泵;11 – 岩心接收装置;12 – 泥浆池

图6-9　水力输送岩心钻进装置示意图

钻进过程中,在钻具内管下部装有岩心卡断器3,当钻成的岩心达到一定长度时(约为直径的两倍),即被岩心卡断器卡断。这样,岩心就被成段、连续不断地从孔底输送到地表。

水力输送岩心所用的设备包括:

(1)自行或拖挂式钻机　其适合于经常搬迁。钻机采用全液压控制,利于快速准确地完成钻进过程中的各种操作,保证回转器平稳给进和改善钻杆拧卸条件。

(2)双通道水龙头　其作用是将泵压送出来的高压冲洗液导入双壁钻柱内外管的环状间隙,直达孔底,并且将内管中的岩心输送到地表。水龙头有较大的中心孔,作为中心通道。

(3)双壁钻杆　其由单独的双管段组成。管段中用肋骨将内管固定在外管内,以防内管轴向外窜动。外管两端用带螺纹的接头连接,而内管两端采用插入连接。内管密封靠接头内的弹性密封圈。外管传递转矩和轴向压力,内管只作为输送岩心的通道。外管由钢材制成,内管则采用轻合金材料,其两端接钢材套。

(4)硬质合金钻头　其直径为76 mm、84 mm和93 mm,具有厚壁钢体。底唇制成螺旋状扇形块,其上镶嵌硬质合金,回转时可保证岩粉由钻头边缘往中心移动,而被冲洗液流带进内管。由于冲洗液在距钻头底唇20 ~ 30 mm处进入内管。因此,要靠周期性上下串动钻具,使切削具得到冷却。钻进较硬、研磨性地层时,则改用金刚石钻头。

(5)岩心卡断器　它装在钻头上部的某一高度。有楔块式、卡球式和滚球式等结构。

卡断器与卡断器座是动配合,其作用原理都是在岩心形成一定长度后,使其受到一个径向力而被切断。

(6)岩心样品收集装置　它包括岩心回收槽和岩粉收集器。

2. 水力输送岩心钻进工艺

水力输送岩心钻进的特点是机械钻速很高,并且靠冲洗液反循环液流有效地从孔底排除岩心和岩粉。在钻进软岩时,钻头回转一周,钻孔的加深不仅有钻头切削具对岩石的切削作用,还有钻头体对孔底的压入作用。

在液压系统中,用单流阀控制给进时,给进力是恒定的,而给进速度则随孔底反作用力的不同而变化。随着给进速度的加快,回转器上的转矩增加。由于液压系统中压力与回转器转矩成正比,当液压系统中压力达到极限值后,要用串动钻具的办法来降低转矩,才能保证正常钻进。因此,钻孔加深是钻进和串动钻具交替作业的结果。按岩(矿)层物理力学性质的不同,一次循环的延续时间为 8 ~ 15 s。

钻进复杂地层如较厚的易膨胀的黏土层、亚黏土、亚砂土和砂砾石层时,操作的关键

是降低回转器上的转矩。采取的措施除串动钻具以外,还可采用墩放钻具、透孔和正循环洗孔。

串动钻具的做法是每钻进 0.1 ~ 0.5 m,将钻具周期性提离于孔底,提离高度等于或稍大于钻进深度;墩放钻具每钻进 0.1 ~ 0.5 m,将钻具提动 8 ~ 10 cm 高度,然后墩放到底;透孔是每钻完一个给进行程,把钻头提离孔底同样高度,然后重新往下钻进;正循环洗孔在每进尺 40 ~ 60 m 后进行一次,其目的是排除钻柱内、外管之间和钻柱与孔壁之间由于岩粉、岩心和孔壁岩石中黏土颗粒散布而形成的自然泥浆,以防岩粉堵塞。在上述措施中串动钻具是主要措施,而其他措施则按需要采用。

钻进漏失带时,应把冲洗液量增加到 300 ~ 320 L/min,而不必串动和墩放钻具,钻到基岩后,用高黏度聚合物泥浆正循环洗孔。

正常钻进时,钻压一般为 10 ~ 25 kN,转速为 200 ~ 300 r/min,冲洗液量为 180 ~ 300 r/min。

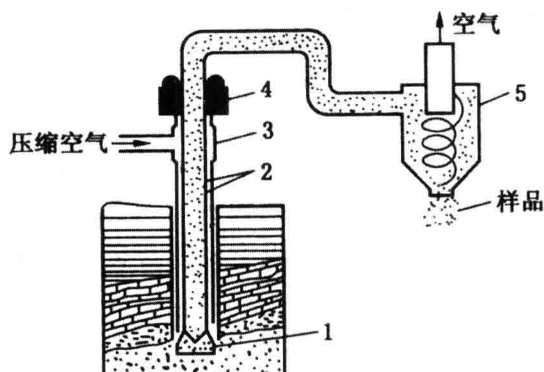
二、反循环连续取样钻进

反循环连续取样钻进也叫中心取样钻探,即采用双壁钻杆反循环系统和全面破碎的碎岩方式,依靠收集钻进过程中由内管中心通道上返至地表的岩屑来取代常规取心钻探中的岩心进行地质编录、岩矿分析等。

1. 钻进原理

中心取样钻探技术的钻进原理如图 6-10 所示。压缩空气经侧入式气水龙头进入双壁钻杆的环状间隙并下行,到达孔底后经内管中心通道上返,同时将所钻地层样品及岩屑携至地表并进入旋流器,样品在旋流器中与空气分离,再根据地质要求进行不同比例的五份选缩分,最后将所分样品按要求包装编号后送化验室分析处理。

在进行中心取样钻探时,通常采用全面破碎钻进工艺,即用牙轮钻头或潜孔锤钻进,以取样代替取心。目前进行这种方法施工时,一般要求空气的上返速度 <25 m/s。



1 - 钻头;2 - 双壁钻杆;3 - 侧入式气水龙头;4 - 动力头;5 - 旋流器

图 6-10　中心取样钻探方法原理

2. 现场地质工作程序

中心取样钻探与常规钻探在现场地质工作程序上有较大区别,概括起来包括:

(1)以取样段的概念取代了取心钻探中的回次长度的概念。所谓取样段长度,就是在钻进过程中,把一定长度内(或一定进尺内)的岩样收集到一起,充分混合后作为一个送检样。这个定尺长度即为取样段。取样段长度的确定一般遵循如下原则:①围岩中取样段可适当长一点,而在矿层及其顶底板交界处,取样段应适当短一点;②比较稳定的大型沉积岩矿床(如煤、铁、石膏等)取样段可比那些矿体变化剧烈的小型金属矿床(如金、银等)长一点,但一般来说,在矿层中的取样段长度不得超过规范所规定的该矿种的最小可采厚度的一半。

总的来说,如取样段定得过长,则使得每个样品过重,造成现场采样、分样工作繁重。但如果将取样段定得过短,则样品数量增多,不仅使现场工作容易出错(如漏编、错编等),还会使样品的后期处理(如化验分析)工作加重。因此,现采用的取样段长度一般为 0.3 ~ 1.5 m。当然,这是对地层普查孔而言的,在勘探阶段,如果地层情况已非常熟悉,则亦可在围岩段基本不取样品,仅在换层时采取少量岩样供现场编录即可,此时取样段长度则因地层换层情况而定。

(2)用满足地质要求的样品量来取代原取心钻探中岩心采取率的概念。在中心取样钻探中,钻头可破碎的全部岩石均随高速气流排至地表,通常高达 100%,而地质人员只需少量样品即可满足化验分析的需要。因此,在钻探现场对岩样进行充分缩分,保留能够满足地质要求的样品量,将多余样品现场处理掉,满足地质要求的样品量根据矿种以及地质工作程度而定。

需要说明的是,在对一个取样段的样品进行缩分时,必须做到样品在缩分时必须充分混合,以确保钻孔中该取样段的每一断面上的样品均能等量地保留在缩分样中。这样,无论分样比例多大,所得到的样品因包含了该孔段各截面上的样本,只是把全样量时的粗圆柱体变为缩分后的小圆柱体,其能有效地代表该孔段的地质情况,与取心相比,则

可认为是100%的采取率。如果在取心钻探中,即使岩心采取率达到了90%。按规范完全满足地质要求,但仍有可能在没有取到的10%的岩心里富含矿,而使依靠取到的90%岩心所进行的岩(矿)分析出现较大误差,这种情况在金等贵金属矿产中表现得尤为突出。

(3)现场地质编录程序有较大区别。在取心钻探中,所获岩(矿)心均按回次编号,按顺序放入岩心箱。而在中心取样钻探中,岩(矿)样呈碎屑状从孔内源源不断排出,按取样段进行收集包装,机械钻速通常远远高于取心钻探。这就要求地质人员必须始终在现场观察,根据返上的岩样随时掌握地层变化情况,并通知钻探人员随时根据地层换层情况变换取样段。

复习思考题

1. 简述反循环钻进的特点。
2. 简述大口径反循环钻进的分类和特点。
3. 简述小口径反循环钻进的分类和特点。

第七章 受控定向钻进

第一节 概　　述

为了地下特殊工程的需要，每一个钻孔，都必须按设计的要求，准确地钻到预计的空间位置。采用人工造斜工具进行人工定向钻进，控制钻孔轴线按设计轨迹钻达预定目标，系受控定向钻进的主要任务。

一、钻孔的空间位置

钻孔的空间位置，一般采用空间坐标系来表示。坐标系的原点 0 代表孔口，x、y 轴代表水平面，z 轴代表钻直方向。钻孔轴上任一点的空间坐标位置是由该点处的孔深、顶角和方位角 3 个基本要素来确定的。

1. 直线型钻孔

直线型钻孔的 3 个基本要素的表示方法如图 7-1 所示。

(1)孔深　孔深指钻孔的起点（O 点）到终点（A 点）轴线的长度，用 L_A 表示。

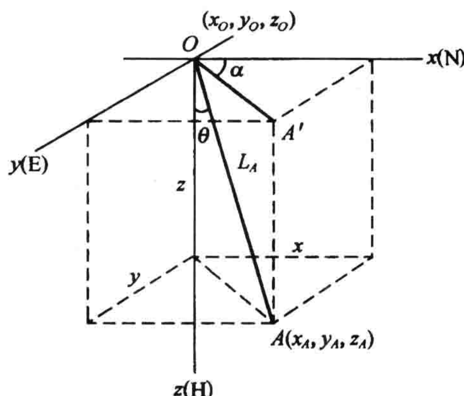


图 7-1　直线型钻孔轨迹图

(2)顶角　顶角指钻孔的轴线 OA 与钻垂线之间的夹角，用 θ 表示。

(3)方位角　方位角指钻孔的轴线 OA 在水平面上的投影线 OA' 与正北（磁北）方向线之间顺时针的夹角，用 a 表示。

直线型钻孔轴线上任一点的坐标按下式计算：

$$X_A = X_0 + L_A \sin \cos a$$
$$Y_A = Y_0 + L_A \sin \cos a$$
$$Z_A = Z_0 + L_A \cos a$$

式中X_0、Y_0、Z_0—孔口坐标；

X_A、Y_A、Z_A—钻孔轴线上点 A 的坐标；

θ—开孔顶角；

a—开孔方位角；

L_A—孔口到测点 A 钻孔轴线的长度。

2. 曲线型钻孔

对于曲线型钻孔来说，钻孔轨迹上每一点可能具有不同的顶角和方位角。在这种情况下，钻孔轨迹上任一点的顶角应理解为该点钻孔轴线的切线与钻垂线的夹角，而方位角则是该点钻孔轴线切线的水平投影线与正北方向顺时针的夹角（如图 7-2 所示）。

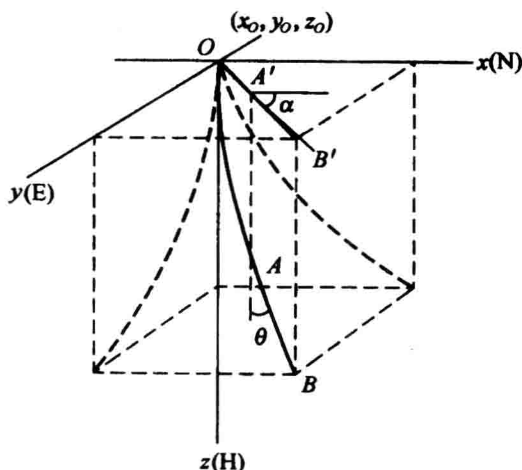


图 7-2　曲线型钻孔轨迹图

3. 钻孔弯曲强度

为了说明曲线型钻孔轨迹的弯曲程度，采用弯曲强度的概念。单位孔身长度的顶角变化，称为顶角弯曲强度。单位孔身长度的方位角变化，称为方位角弯曲强度，单位是（°）m。

顶角弯曲强度用 i 口表示。若某一段孔顶角变化均匀。则

$$i_\theta = \triangle\theta / \triangle L$$

式中$\triangle\theta$—相邻两测点顶角增量，（°）；

$\triangle L$—相邻两测点的孔身长度，m。

方位角弯曲强度用 i_a 表示。若某一孔段方位角变化均匀，则有

$$i_a = \triangle a / \triangle L$$

式中$\triangle a$—相邻两测点方位角的增量，（°）。

二、定向钻进特点和应用范围

1. 定向钻进特点

定向钻进的优点在于能够节省钻探进尺，较好地保证钻探质量和满足各种特殊工程的需要。

2. 定向钻进的应用范围

定向钻进的应用范围，主要有以下几个方面：

（1）由于地面情况限制而使用定向钻进：①勘探在水域、沼泽、城镇、大型建筑及公共设施等障碍物下部的矿体，即界外施工；②山高坡陡，修筑道路和平整场地困难时，可移位开钻；③在江、河、湖、海进行水上钻探，充分利用平台。

（2）由于地质条件要求而使用定向钻进：①矿体产状急倾斜。定向孔可增大遇层角。获得有代表性的地质资料，并减少钻探工作量；②矿体埋藏较深，覆盖层较厚或上覆岩层严重坍塌漏失。采用多孔底方式钻进，可避免多次穿过复杂地层；③勘探网度较密，矿体距地表又深。采用定向分支孔，可避免孔斜超差，并减少进尺；④在强造斜地层中钻进，孔斜难以控制。如果将斜就斜，按自然造斜规律打定向孔，可提高钻探效率并降低成本；⑤矿体产状与围岩产状不一致，倾向相反，交角近乎垂直。此时必须采用人工定向孔，才能穿过矿层。

（3）由于工程技术需要而使用定向钻进：①补取岩（矿）心；②绕过孔内事故孔段或地下坑道及老窿；③打多孔底孔，增加矿心量、出水量、出油量、出气量、地下爆破装药量；④打孔喷、灭火等救援井；⑤用定向孔开采地下固体矿产或排出瓦斯。如煤的地下气化，硫的地下熔化，页岩的地下蒸馏，汞的升华，甲烷的排除等；⑥敷设地下电缆或管道；⑦打有特殊要求的灌浆孔或冻结孔；⑧用定向孔查明要开凿竖井处的岩层等。

三、定向钻孔的分类

1. 初级定向钻孔

采用常规钻具并利用地层和工艺造斜规律，通过移动孔位，改变开孔顶角，扭转开孔方位角等方法，钻达目的层位的钻孔称为初级定向钻孔。必要时，在钻进过程中辅以少量的增斜或减斜技术措施。

2. 受控定向钻孔

单纯采用人工造斜手段或综合利用人工造斜手段与地层造斜规律，钻达目的层位的钻孔称为受控定向钻孔。自然造斜与人工造斜，可在某一孔段同时使用，也可在不同孔段分别使用。

按孔身轨迹的不同，可分为：

（1）平面弯曲定向钻孔　它包括孔身轨迹在某一垂直平面内只有顶角弯曲而无方位变化（或方位角变化很小）的钻孔，在某一倾斜平面内顶角和方位角都有变化的钻孔以及在水平平面内只有方位角弯曲而无顶角变化（或顶角变化很小）的钻孔（坑道钻中用

之)。平面弯曲定向钻孔设计和施工控制较为简便,因此最常采用。

(2)空间弯曲定向钻孔　它包括孔身轨迹某段在某一曲面内既有顶角变化又有方位角变化的钻孔以及顶角不变、方位角发生变化的螺旋线状钻孔。

空间弯曲定向钻孔特别适用于岩层造斜作用强烈、钻孔顶角和方位角自然弯曲规律都很明显的矿区。另外,钻孔需要绕过地下障碍物时,也可采用此类钻孔。

第二节　定向钻进工具

实现定向钻进,除利用自然弯曲规律以外,还常常采用各种技术手段。这些技术手段工作的实质在于人为地使钻具轴线与钻孔轴线一致,保持原来钻孔的方向;或者人为地使钻具轴线偏离钻孔轴线,改变原来钻孔的顶角和方位角。

一、偏心楔

偏心楔又称偏斜楔或造斜楔,其结构简单,加工方便,可分为固定式和可取式。前者只使用一次,后者可使用多次。从楔子顶部的结构来看,偏心楔分开口式和闭口式。开口式不带导向管,而闭口式则带导向管,有时导向管甚至接到孔口。闭口式偏心楔常用于减径造斜。

偏心楔的主要参数是楔顶角和导斜槽直径。楔顶角不宜过大,一般在3°左右。岩石可钻性级别越高,楔顶角应越小。否则侧钻困难。导斜槽直径应比导斜钻头直径大1~3 mm。

偏心楔由圆钢铣制、钢材浇铸或套管切制而成。钢制实体偏心楔常用于硬岩;管材加工的偏心楔常用于软岩。

固定式偏心楔为固定在孔内,导斜钻进后不再取出的导斜装置称固定式导斜器。它分为开口式与闭口式两种。闭口式导斜器连接套管下入孔内,在导出的新孔完工后,仍随套管取出,但习惯上仍称它为固定式导斜器。

这类导斜器通常用于补取岩心,绕开事故钻具或施工分支定向钻孔。

(1)开口式偏心楔(如图7-3所示)其上部为敞开的凹形导斜槽,下部为完整管体,底部有岩心管螺纹,可连续固定装置或加长管。导斜槽的顶角根据设计要求而定,一般为3°~7°,其长度依管径与顶角计算确定。

(2)闭口式偏心楔(如图7-4所示)它用一根完整的管子加工而成,上下两端均有螺纹,上端与套管或定向装置连接,下端与加长管连接。管子中上部割去一半成为敞开段,使导斜钻具能够顺利通过,敞开段的下部便是导斜槽。整个管体长约4.5~5.5 m,敞开套约2.5~3 m,导斜槽的长度和顶角与开口式导斜器相同。

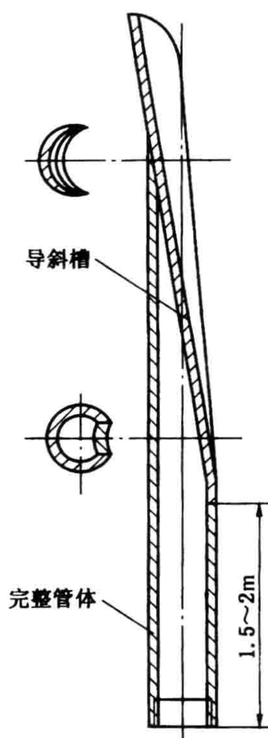


图 7-3　开口式偏心楔

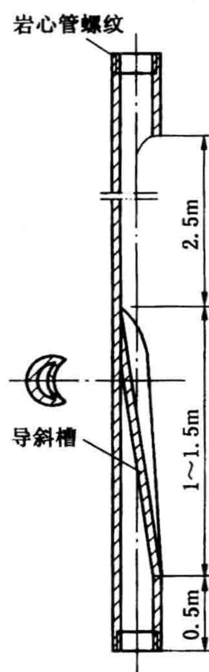


图 7-4　闭口式偏心楔

二、机械连续造斜器

此种连续造斜器又称无楔体连续造斜器，是一种较新的造斜工具。它利用专门机械产生偏斜力实现定向造斜。造斜周期是从下钻开始，到由于钻头磨损需要更换或由于某些正常情况要求提钻检查为止。该造斜器是同径造斜，一次成孔。造斜后孔身呈平滑出状，无"狗腿"急弯。

1. LZ 型连续造斜器的结构

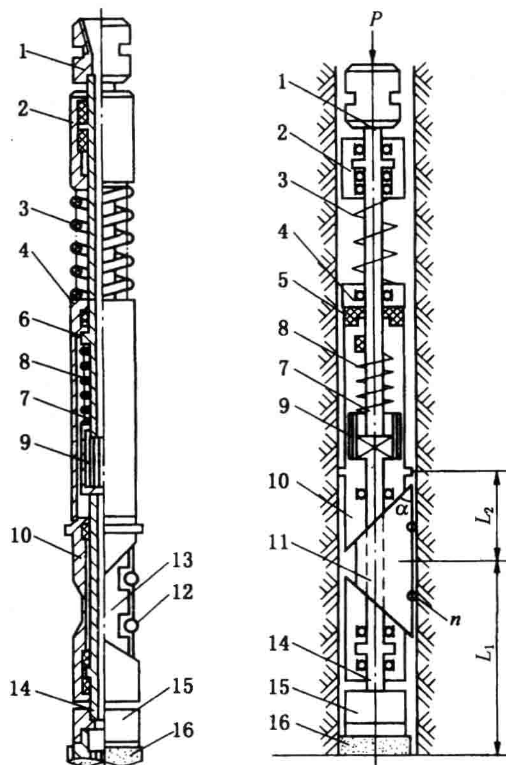
LZ 型连续造斜器的结构如图 7-5 所示，由内转动件（转子）和外固定件（定子）组转子部分的主动轴 l 下部连接有花键轴 7，被动轴 ll 上部连接有花键套 9。钻具呈自由状态时，由于回位弹簧 8 的作用，主动轴与被动轴彼此脱开。被动轴的下端连接短管 15、钻头 16。主动轴上的定位接头 6 与外壳的定位套 5 啮合，使钻具定向时，主动轴与外壳固紧成一体。

钻具的支撑止动机构由上半楔 10、下半楔 l4、上下两半楔之间的滑块 13 和滑块上的滚轮 12 组成。

2. 工作原理

当钻具下到孔底施加轴向压力 P 时，钻具呈工作状态。主动轴 1 克服工作弹簧 3 和回位弹簧 8 的弹力，向下移动，花键轴 7 与花键套 9 啮合。此时上半楔和外壳受工作弹簧压力的作用，向下半楔移动，滑块被推出。滚轮压向孔壁，对孔壁产生一比较大的侧压力 Q，与此同时，上、下半楔连同钻头向滑块移动的反方向偏移，在钻头上也产生一造斜力

A。侧压力使外壳与孔壁固定,不能在圆周方向转动。但是,外壳能在轴向压力作用下随滚轮的向下滚动而沿轴向移动。



1 – 主动轴;2 – 单体外壳;3 – 工作弹簧;4 – 定子;5 – 定位套;6 – 定位接头;
7 – 花键轴;8 – 回位弹簧; 9 – 花键套;10 – 上半楔;11 – 被动轴;12 – 滚轮;
13 – 滑块; 14 – 下半楔;15 – 短管;16 – 钻头

图 7-5　LZ 型造斜器结构图

在造斜力作用下,钻头侧向切削孔壁,实现人工造斜。显然,支撑机构离钻头越近,造斜力越大,造斜强度越高。

卸去轴向压力,钻具提离孔底时,复位弹簧使上、下轴分离,滑块缩回,从而可把钻具提到地表。

三、孔底动力机械造斜钻具

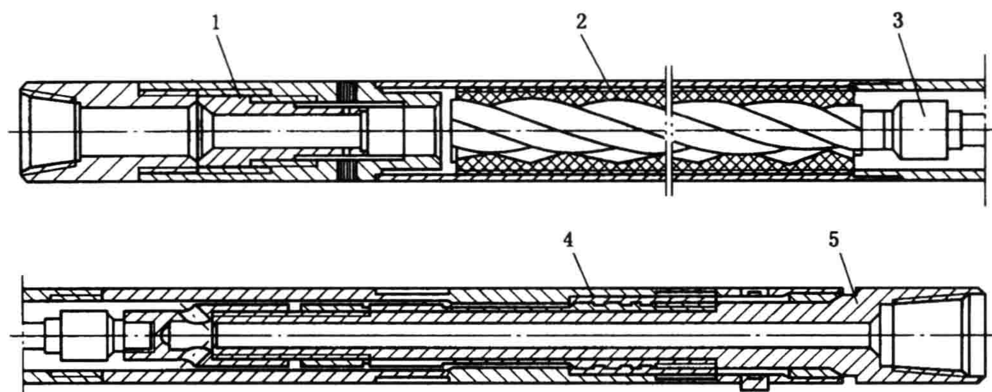
1. 孔底动力机械造斜钻具的特点与分类

孔底动力机械有很多优点,首先在于充分利用功率,有利于发挥钻头的切削性能。同时钻杆不转动,可以减少钻杆的磨损和折断以及钻杆碰撞孔壁引起的坍塌掉块卡钻事故;用孔底动力机械配合专门造斜件进行人工造斜,可以实行随钻测量,精确控制钻进方向;造斜件结构简单,使用方便;用孔底动力机械造斜钻具打定向孔,孔身平滑,造斜时孔径不减。

孔底动力机械有涡轮钻、螺杆钻和电钻等 3 类。

2. YL 型液动螺杆钻具

(1)结构原理 YL 型液动螺杆钻具结构如图 7-6 所示。YL－54 螺杆钻具由旁通阀 1、螺杆马达 2、万向联轴节 3、轴承总成 4 和传动轴 5 组成。



1－旁通阀;2－螺杆马达;3－万向联轴节;4－轴承总成;5－传动轴

图 7-6　YL 型液动螺杆钻具结构图

轴承总成由硬质合金耐磨径向轴承组成。用总流量 5%～10% 的冲洗液对轴承各部位进行冷却和润滑。

传动轴是钻具出露在外部的唯一旋转部件。

旁通阀的作用是:在正常钻进时,高压液体迫使活阀封闭溢流孔,使液体全部进入马达,推动螺杆转子旋转;在停泵提钻时,弹簧顶起活阀,使钻杆内液体从溢流孔排出,不致在拧卸钻杆时喷溅出来,污染机台。另外,在下钻过程中,还可防止孔内液体由钻头底部来推动马达,使转子反转而引起脱扣事故。

螺杆马达转子外层为钢壳,其内腔衬有耐油、耐磨、耐温橡胶。橡胶硬度为邵氏 75～80。转子由热处理的优质钢制造,为了增加转子表面的耐磨性,表面镀以硬铬。镀层厚度为 0.15～0.25 mm。转子和定子采用过盈配合,其值为 0.2～0.6 mm。

万向联轴节采用鼓形齿内花键结构,它的径向密封性好,传递扭矩大,旋转灵活,使用寿命长。

(2)YL 系列液动螺杆钻具的规格和性能 YL 系列液动螺杆钻具的规格和技术性能如表 7-1 所示。

表 7-1　YL 系列液动螺杆钻具技术性能表

钻具型号	钻具外径/mm	配用钻头直径/mm	波齿数比	泵排量 Q/L·min^{-1}	工作压力差 ΔP/MPa	钻头转速范围 n/r·min^{-1}	工作扭矩 M/N·m	功率范围/kw	钻具长度/m	钻具质量/kg	最高效率
YL－54	54	59.5－75	5/6	150	3.2	440	98	4.5	2.40	25	57

续表

钻具型号	钻具外径/mm	配用钻头直径/mm	波齿数比	泵排量 Q/L·min^{-1}	工作压力差 ΔP/MPa	钻头转速范围 n/r·min^{-1}	工作扭矩 M/N·m	功率范围/kw	钻具长度/m	钻具质量/kg	最高效率
YL－62	62	75～94	5/6	210	3.2	425	149	6.7	2.66	40	60
YL－85	85	94～118	5/6	300～420	3.2	95 330	392	9.8～13.7	3.40	12	61
YL－100	100	118～152	5/6	450～600	3.2	220～290	666	15.5～20.5	3.60	180	62
YL－127	127	152～200	5/6	750～900	3.2	184～220	1303	25.4～30.6	4.50	310	65

第三节　定向方法

一、直接定向法

1. 地表直接定向法和所用工具

在地表直接定向时，常可通过观测器或导向夹持装置，使连接造斜工具的钻杆（或套管）不发生扭转，把定向母线通过钻杆（或套管）一根接一根地接续下去，从而将造斜工具按设计方位下到孔内预定位置。

具体方法有：用观测筒对准标杆定向（观测筒装在钻杆立根上）；用经纬仪对准定向夹板定向（定向夹板装在钻杆立根上）和用导向滑架及挟持器定向。由于钻杆柱在孔内的弯曲和扭转难以避免。所以，各种地表直接定向方法都不能保证较高的定向精度。孔深越大，定向的准确性和可靠程度越差。不得已时才采用地表直接定向法。

2. 孔内直接定向法和仪器

这种方法是将单点罗盘照相测斜仪与斜口管鞋装置配合使用。

斜口管鞋装置分两部分：一部分接在测斜仪下部，叫斜口管鞋；另一部分接在无磁钻铤下部，叫斜口管鞋短节。测斜仪可以投入（或用钢绳送入）无磁钻铤内工作。

斜口管鞋短节内有一键块，其位置与定向标记（即定向工具方向）一致。当测斜仪投入短节时，斜口管鞋内的斜口槽即骑入键块，使键块、斜口槽及定向标志指向一致。这时，斜口槽的指向就是定向工具的指向，而这个指向，可直接记录在记录盘上。照相时，不仅能反映出测量孔段的顶角方位角，同时也能反映出钻孔倾斜面与造斜工具倾斜面之间的夹角，从而实现孔内直接定向。

二、间接定向法

1. 定位座足向

此法适用于顶角0°以上的钻孔中定向下入固定式偏心楔。其原理是先将带有定位件的定位座,下入孔内并任意固定之。用打印器或定盘测斜仪确定定位件对钻孔倾斜面的夹角。然后,将偏心楔下端接一与定位件匹配的耦合件,并按事先计算好的造斜工具在孔内的安装角(又称扭转角或面向角),调整好造斜工具面向与偶合件之间的夹角。一旦带偶合件的偏心楔下入孔内,耦合件与定位座上的定位件啮合时,偏心楔即到位。

定向件可以是:键、键槽、杆、孔、台阶或斜面等。相应的耦合件则为:键槽、键、孔、杆、匹配台阶或匹配斜面等。

2. 偏重体定向

偏重体定向又称偏重自动定向。适用于顶角3°以上的钻孔。这种方法是利用质量较大的偏心重锤在钻孔中必然处于钻孔下侧的原理。只要把偏心重锤的对称面与偏心楔或连续造斜器造斜面,布置成一定的夹角(即按造斜要求计算出来的安装角),便可使偏心楔定向。应用此法时,钻孔顶角越大、偏心重锤越重,下孔后重锤所受的摩阻越小,转动越自如,则定向的效果越好。

如图7-7所示为是一种外露式偏重定向器。此定向器由轴承悬挂装置、偏重管和连接件3部分组成。下偏心楔之前,只需把偏心重铊平分面与偏心楔造斜面之间按事先计算好的安装角装配,下钻时,由于偏心重铊在重力作用下必定处于钻孔下帮,其平分面处于钻孔倾斜面孔。所以,造斜楔造斜面自动定位在由安装角决定的造斜位置。

此种定向器一般用于给固定式偏心楔定向。

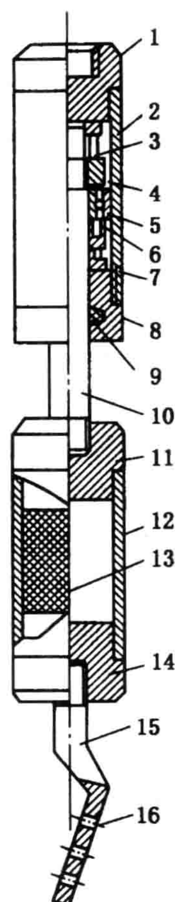
3. 定向仪定向

BD－14型摆锤定向仪如图7-8所示。该定向仪由孔内传感器和地面显示仪两部分组成。孔内传感器的敏感元件是在外壳内自由放置的摆锤3和对称放置的两导向片2。当孔内传感器用导线经钻杆下入时,可通过内径16 mm的钻杆接头,其斜口引鞋4上的键槽最少到造斜工具上部定向接头的定向键上。

在斜孔中,摆锤因自重的关系,其球形触点必倒向下帮位置。此时顺时针回转钻杆,相当于回转孔内传感器一周。摆锤球形触点与两导电片相对位置的变动情况,可使地表微安表上的指针有“短零”、“右导通”、“长零”、“左导通”4种不同显示。其中“短零”只占钻杆回转一周的3°圆周角,可把它定为仪器的定向位置。

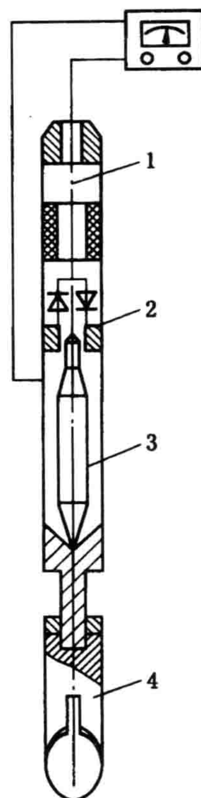
用此种仪器给造斜工具定向时,造斜工具面向角的定向精度为±7°。

BD—14型定向仪既可用于偏心楔定向,又可用于连续造斜器和孔底动力机造斜钻具定向。



1－上接头;2－外管;3－止推轴承;4－轴套;
5－向心轴承;6－垫圈;7－止推轴承;
8－下接头;9－密封垫;10－轴承;
11、14－接头;12－外管;13－铅铊;
15－连接杆;16－铆钉孔(接偏心楔)

图 7-7　外露式偏重定向器



1－导线;2－导向片;
3－摆锤;4－斜口引鞋

图 7-8　BD—14 型摆锤定向仪

4. 随钻定向

直接定向或间接定向方法的共同特点是需要停钻专门进行定向工作,不能连续了解孔底的造斜效果。

近年来,国外随着钻测斜技术的发展,使钻进时能够及时连续地测知钻孔顶角、方位和造斜工具的面向,并且使这些数据在地面记录和反映出来,从而可以及时调整造斜工具的面向,做到随钻定向。

目前随钻测斜定向系统分为两类:

一类是有线(有电缆)随钻测量系统,其井下仪器是磁性测斜仪或陀螺测斜仪,并且仪器本身可以连续测量或多点测量,同时把测量的数据变成电讯号传到地面上来。这类

仪器由于用电缆连接,密封等工艺比较复杂。

另一类是无线(无电缆)随钻测量系统。这类系统在钻进过程中不用电缆就可把测得的数据发送到地面上来。

第四节 定向钻孔的施工

定向钻孔施工中,多孔底钻孔施工比较复杂。一般单孔底定向钻孔施工所采取的工艺措施,在多孔底分枝孔施工中都必须采用。因此,以下介绍多孔底定向钻孔的施工工艺。

一、"从下往上"施工定向钻孔

主孔尽量按普通方法设计和施工,不设计专门的造斜孔段。一般选用垂直角度或小顶角开孔,而后利用地层自然造斜规律钻进,能够达到设计目的。如果在施工中孔身偏离设计轨迹,有可能达不到地质要求的靶区时,可采用连续造斜器或其他人工措施纠斜。

分枝孔施工可分两种情况:一种是分岔点处岩石坚硬,采用下楔分岔;另一种是分岔点处岩石为中硬,则采用不下偏心楔而直接分岔,这样可大大简化打分枝孔的工序。

一般施工工序如下:

1."架桥"建立人工孔底

在选定的分岔点"架桥",建立人工孔底,目的是堵塞下部孔段,以便在钻孔中部永久性地安装固定式偏心楔,或者临时性地安装可取式偏心楔,或者给连续造斜器及螺杆钻造斜钻具的定向造斜,提供一个坚固的基础。

常用的"架桥"方法有两种:一种是下木塞堵孔,然后填以碎石或灌注水泥等胶结材料,建立"水泥桥";另一种是下金属塞,建立"金属桥"。

不下楔分岔时,多采用"水泥桥"。水泥桥的质量,对分枝孔的造斜钻进有决定性的作用。胶结材料应与孔壁岩石面有良好的黏结性和较高的冲击韧性。胶结材料的强度最好大于或接近于孔壁岩石的强度。一般可采用早强水泥、高标号普通水泥加三乙醇胺和食盐,甚至采用以环氧树脂为基础的快硬混合物。

灌注水泥桥的工艺是:洗刷孔壁—下木塞到预定部位—往木塞上灌注 20 ~ 30 m 水泥—待凝 24 ~ 48 h —下钻试探灰面并钻取水泥样。

下楔分岔时,可采用"水泥桥",也可采用"金属桥"。用液压金属孔底塞架桥,操作简单,可直接在"金属桥"上安装偏心楔。只要"架桥"孔段岩石较完整,不软,不超径,下放位置准确,按要求进行操作,就能保证"架桥"质量。

2.定向下连续造斜器或定向下楔

这是最关键的工序。定向准确与否直接关系到分枝孔的延伸方向。计算的安装角不能有错。

不下楔分岔时,将组合好的造斜钻具下到预定孔深处,用定向仪给弯接头母线定向,

确认定向正确,拧紧抗反扭矩器的螺钉后,即可开泵钻进。

下楔分岔时,用接有定向接头的钻杆,将偏心楔下到预定位置,在顶角小于3°的钻孔和垂直孔中可用KDJ-1磁性定向仪等定向;在顶角大于3°的钻孔中可用其他定向仪定向。地表调整定向仪母线位置时,要经过复算,避免差错;要采用耐磨和固定牢靠的实体偏心楔。如果下入部位的岩层不很完整,可以考虑再灌注少量水泥浆。中硬岩层楔顶角3°,硬岩层楔顶角小于3°。

不下楔分岔时,给连续造斜器定向后,即转入造斜钻进;下楔分岔时,还需进行打导向眼、扩孔、扫"狗腿"、导斜延伸钻进等补充工序。

3. 沿楔面分岔的补充工序

(1)打导向眼　在5级以上岩层,特别是在硬岩层,沿楔面分岔打分枝孔时,一般要两次完成。先打小一级导向孔至楔面以下1 m左右,再扩孔钻孔全尺寸。打导向眼的钻头应呈锥形。5~7级岩石可用锥形硬质合金钻头,7级以上岩石则用锥形金刚石钻头。

打导向眼的钻具,应连接万向节或连接小一级的柔性较好的钻杆。粗径部分长1.1m左右,可以随钻进逐渐加长。钻进时,压力不要大,转速要低,泵量可大些。

(2)扩孔　沿楔面扩孔可采用厚壁金刚石钻头或不取心金刚石钻头、牙轮钻头或不取心硬质合金钻头。

钻具组成为:导向杆—厚壁钻头—特制接头—岩心管(小一级)—接头—万向节(或柔性钻杆)。粗径长度为1.1 m左右,可以随钻进逐渐加长。钻进时,仍用小压力、慢转速和大泵量。

如果岩石不硬,沿楔面打导向眼和扩孔两个工序,可以合二而一。采用与钻孔同径的锥形钻头(或牙轮钻头)加接头、加钻杆的钻具沿楔面钻进,必要时,加以万向节。

(3)扫"狗腿"　沿楔面扩孔钻进后,与偏心楔顶部相对的一侧形成狗腿状急弯,必须及时修整孔壁和将"狗腿"扫掉,以利分枝孔钻进。

在中硬岩层中,修整孔壁和扫"狗腿"可以采用"狼牙棒"式组合钻具,开始长度为1.5 m,以后可逐渐加长。扫"狗腿"时的钻进规程参数与扩孔相同,并来回在"狗腿"处缓慢上下串动。扫"狗腿"结束后,要用打捞器将碎合金打捞干净。

在硬岩层中,修整孔壁和扫"狗腿",可采用带上、下金刚石扩孔器的组合钻具。随组合钻具的加长,可以增加扩孔器数量。钻具下部可以连接旧金刚石钻头。

(4)导斜延伸钻进用逐渐加长的短粗径钻具(1 m,1.5 m,2 m)过楔面延伸钻进10 m左右测斜。视岩层情况的不同,可采用不取心金刚石钻头、牙轮钻头、不取心硬合金钻头,也可采用取心金刚石钻头或取心硬合金钻头。

延伸钻进结束后,可用长粗径钻具试探能否通过,如通不过或通过时阻力较小,还需补充扫"狗腿"和修整孔壁。

4. 造斜钻进

用螺杆钻造斜钻进时,确信定向准确后,且随泵钻进。钻进中严禁提动钻具,钻速应控制在0.5 m/h左右。钻进时,随时观察返到地表的岩粉情况。如采用带弯接头的螺杆

钻造斜钻进，因造斜强度一般为(1° ~1.5°)/10 m，施工中不必改用其他钻进方法；如采用弯外壳螺杆钻造斜钻进，因造斜强度较大，每造斜钻进 2 m 左右，最好改用常规钻进方法钻 2 m 左右，以防钻孔轴线产生急弯。

用机械式连续造斜器造斜钻进时，下降钻具速度应慢放，特别是在可能被卡阻的孔段(坍塌、空洞、缩径、孔内留有偏心楔)和深孔段时，速度应更放慢一些。造斜器下到孔底，大泵量冲孔后，应先加压(钻头所需压力的 70% 左右)，后开车慢转钻进，约 5 min 后，再用较大压力，泵量和中等转速的正常规程钻进。

用连续造斜器进行造斜钻进时，压力的掌握特别重要。一方面要保证钻头轴向破碎岩石；另一方面又要保证在该压力下有适当的侧向卡固力和足以进行侧向克取岩石的造斜力。当孔壁不太硬时，卡固力过大，会使钻具产生悬挂现象。

倒杆时，应先停车使立轴不回转，再卸去轴向压力。若先卸压，后停车，会使造斜器定向方位变动。

连续造斜器定向钻进中，一旦定向破坏，应立即停止造斜钻进。造顶角时，回次进尺控制在 1 ~2 m。在钻杆强度允许的情况下，可适当提高造斜强度和加长回次进尺。

回次进尺结束后，提升钻具前，应增加泵量冲孔，连续造斜器造斜钻进转入普通方法钻进前，必须修整人工弯曲孔段的孔壁，用专门钻具扩扫钻孔，以使稳斜钻进的钻具能顺利过孔。

如造斜钻进后孔身急剧偏离原定方向，可灌注水泥，然后用长粗径钻具(3.5 ~5 m)钻进，使孔身回到原来的方向。

5. 稳斜钻进或自然造斜钻进

造斜钻进达到预计要求，用长粗径能通过人工弯曲孔段后，即可用稳斜钻具或普通钻具继续钻进。只有在钻进中发生钻孔方向偏离设计轨迹较大，影响中靶精度或有可能脱靶时，才考虑用组合钻具或连续造斜器纠正。

二、“从上往下”施工定向钻孔

“从上往下”施工定向钻孔有下偏心楔与不下偏心楔两种方法。以下介绍不下偏心楔的施工方法。

主孔应设计有急剧人工弯曲孔段，连续定向造斜的工艺同上。分枝孔的施工工序如下：

1. 在分岔点导直钻进

由于分岔点一般选在主孔急剧人工弯曲的起始部位，开分枝孔时，可用 4.5 ~5 m 长、刚性好的粗径导直钻具。根据岩层情况和地质要求，可以选用取心及不取心合金钻头、金刚石钻头或者牙轮钻头。开孔时，应采取较小压力，使钻头能全直径地进入岩石，形成新孔。分枝孔开孔前，也可以在主孔分岔点以下一定深度上用木塞“架桥”，然后灌注水泥或其他合成树脂，直到略高于分枝孔开孔的部位。待灌注的胶结材料凝固后，再导直钻进。分枝孔开孔直径小于主孔直径，有利于导直分岔。

2. 保直钻进

用加长的粗径钻具导直钻进 5 ~ 10 m 后,即可改用常规钻具。为使分枝孔开孔后在较长的孔段能保持其保直度,可采用液动冲击器钻进,以取得较好的稳斜效果。

3. 造斜钻进

稳斜钻进到设计深度后,根据要求可采用连续造斜器或螺杆钻造斜钻具进行定向造斜钻进,其造斜工艺同前述。

4. 稳斜钻进或自然造斜钻进

该工序与“从下往上”施工多孔底孔的第 5 个工序同。

最后应当指出:为使主孔和分枝孔都能够达到地质要求的靶区,进入施工阶段后,必须随时根据测斜资料作图,将实际孔身轨迹与设计孔身轨迹进行对比。如果偏离原定方向,则应按顶角和方位角偏离的程度进行纠斜计算。具体方法可参看钻孔弯曲作图和定向造斜计算部分。

复习思考题

1. 简述定向钻进特点和分类。
2. 简要介绍定向方法。
3. 定向钻孔的施工工艺有哪些要求?

第八章　岩心、土样的采用

第一节　概　　述

一、对岩心、土样的要求

1. 采取岩心、土样的意义

采取岩(矿)心是岩心钻探的主要目的,是检验钻孔质量的一项重要指标。通过对岩(矿)心的观察、鉴定、化验和分析,可以了解矿体的埋藏深度、厚度、产状、分布规律、矿物组成、矿石晶位、化学成分、矿物与岩石的结构构造,矿石选冶性能和水文地质特性等。由此可见,岩(矿)心采取数量的多少,品质的好坏,直接影响判断地质构造,评价矿产资源,提交矿产储量和矿山开采设计的准确性和可靠性。在钻探施工中,不仅要求提高钻进效率,而且要求重视采心质量,力求准确地从钻孔中采取能够全面代表相应孔段岩(矿)层的岩(矿)心,在数量上要有足够的体积,在质量上能够保持原生结构和含矿晶位。即保证取上的岩(矿)心具有最大的代表性。

工程地质钻探的目的在于获得准确的工程地质资料,即通过所取样品来了解土层的层序、深度、厚度、天然结构、密实度、自然湿度、节理程度,抗剪强度、压缩系数、密度、渗透系数等,从而确定土层的承载能力和稳定性。因此,必须做好采取样品的工作。根据工程地质的要求,通过钻探手段,必须在土层中取出扰动土样和原状土样。用一般钻进工具(如勺钻、麻花钻、管钻等)所取的土样,其天然成分和结构已被破坏,称为扰动土样。用这种样品可获得部分工程地质资料,但用这种样品获得的试验分析资料不准确。所以,凡是进行工程地质勘察,都还必须专门采取所必要的原状土样。

所谓原状土样,是指天然成分和结构未被破坏的土样。用原状土样可以测定土层在自然状态下的各种物理力学性质,为各类工程建筑提供可靠的设计依据。如缺乏地基土壤的精确资料,在设计时被迫采用较大的安全系数,势必浪费大量的人力和物力。因此,用简单易行的办法在一定的深度取出原状土样,具有重要的经济意义。

2. 对岩(矿)心的基本要求

岩(矿)心钻探中,为了正确反映岩(矿)心的代表性,对岩(矿)心质量有如下基本要求:

(1)采取率　取出的岩(矿)心长度与对应孔段实际进尺长度的百分比称为岩(矿)

心采取率。

根据普查、勘探程度不同，以及钻进矿层、岩层的不同，按要求各自有一定的岩（矿）心采取率，才能保证得到足够数量的岩（矿）样，以满足分析、鉴定和研究的要求。岩（矿）心采取率的一般要求：岩心采取率不低于65%；矿心采取率（按可采层计算）分层不低于75%。由于矿床类型和各矿种的具体要求不同，其采取率的标准应根据情况由地质、钻探、水文地质等部门共同商订。

（2）完整度　采取的岩（矿）心要保持天然的结构和构造，即矿物颗粒形状、大小、胶结状态、孔隙度、层理、片理、原始接触界面等。反映矿物岩石的真实性，便于划分矿石类型，观察原生矿物结构与共生关系。以便于实地进行观察，防止人为的破坏、扰动、颠倒。

（3）纯洁性　要求取出的岩（矿）心不受外来物质的侵蚀、污染和渗进，以免影响矿石的品位和品级，或影响矿物的物理性质。如煤心中混入黏土后，灰分增加；滑石中混入泥浆后，二氧化硅提高；孔壁掉块，可能形成假心等。

（4）避免选择性磨损　钻取的矿心应尽量避免内在物质成分发生变化。选择性磨损往往使矿心人为贫化，富集或变质，从而歪曲原来的品位和品级，如：钼、石墨、云母、石棉等矿石，由于质量轻、呈鳞片状、纤维状、薄片状，很容易流失，造成人为贫化；如：金、铜、黄铁矿、铅锌、汞等矿石，因相对密度大，呈结晶状、颗粒状，易于残留，造成人为富集；如：钾块、岩块、芒硝等矿石，遇水溶解，易于淋蚀，造成品位下降；而煤心烧灼变质则会使其品级降低。

（5）取心部位准确　要求取出岩（矿）心的位置准确，是为了得到岩（矿）层准确的埋藏深度、厚度和产状，以准确地计算矿产储量和确定地质构造。

3. 对土样的基本要求

取样的目的在于获得土类鉴别定名和室内试验的样品。然而不同方法获得样品的质量不同，用途也不一样。《岩土工程勘察规范》提出的土样质量等级分为5级（如表8-1所示）。

表8-1　岩体按结构类型分类

岩体结构类型	岩体地质类型	主要结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特征	可能发生的岩土工程问题
整体状结构	均质，巨块状岩浆岩、变质岩、巨厚层沉积岩、正变质岩	巨块状	以原生构造节理为主，多呈闭合型，裂隙结构面间距大于1.5 m。一般不超过1～2组，无危险结构面组成的落石掉块	整体性强度高，岩体稳定，可视为均质弹性各向同性体	不稳定结构体的局部滑动
块状结构	厚层状沉积岩、正变质岩、块状岩浆岩、变质岩	块状柱状	只具有少量贯穿性较好的节理裂隙，裂隙结构面间距0.7～1.5 m。一般为2～3组，有少量分离体	整体强度较高，结构面互相牵制，岩体基本稳定，接近弹性各向同性体	坍塌，深埋洞室的岩爆

续表

岩体结构类型	岩体地质类型	主要结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特征	可能发生的岩土工程问题
层状结构	多韵律的薄层及中厚层状沉积岩、副变质岩	层状板状透镜体	有层理、片理、节理,常有层间错动面	接近均一的各向异性体,其变形及强度特征受层面及岩层组合控制,可视为弹塑性体。稳定性较差	不稳定结构体可能产生滑塌,特别是岩层的弯张破坏及软弱岩层的塑性变形
碎裂状结构	构造影响严重的破碎岩层	碎块状	断层、断层破碎带、片理、层理及层间结构面较发育,裂隙结构面间距 0.25 ~0.5 m,一般在 3 组以上,由许多分离体形成	完整性破坏较大,整体强度很低,并受断裂等软弱结构面控制,多呈弹塑性介质,稳定性很差	易引起规模较大的岩体失稳,地下水加剧岩体失稳
散体状结构	构造影响剧烈的断层破碎带,强风化带,全风化带	碎屑状颗粒状	断层破碎带交叉,构造及风化裂隙密集,结构面及组合错综复杂,并多充填黏性土,形成许多大小不一的分离岩块	完整性遭到极大破坏,稳定性极差,岩体属性接近松散体介质	易引起规模较大的岩体失稳,地下水加剧岩体失稳

二、影响岩心、土样的采取因素

影响岩心、土样的采取因素很多,但归纳起来不外乎地质、地层方面的因素和工程技术方面的因素。

1. 地质、地层方面的因素

钻进完整、坚硬、致密、均匀、稳定而又不怕冲洗液冲刷,不怕钻具振动的岩(矿)层时,采取岩(矿)心较容易,而且岩(矿)心多呈柱状,易于得到完整的、代表性高的岩(矿)心。

钻进节理发育、松散、破碎、经过构造错动、风化破坏、胶结性差或岩质酥脆的岩(矿)层时,岩(矿)心易被冲毁、搅碎、磨细、淋蚀和污染,岩(矿)心往往呈块状、粒状、片状、粉状、甚至淋蚀和流失。这类岩(矿)层不易获得没有足够代表性的岩(矿)心,甚至取不到岩(矿)心。

地质条件是客观因素,利用其规律和特点,选用适应地质条件的取心方法和工具,改进操作技术,减少或消除客观因素的影响,不断提高岩(矿)心的采取质量。

2. 工程技术方面的因素

工程技术方面的因素主要是未能根据不同的地层条件合理选择钻进方法、钻进规程参数、取心工具及冲洗液类型等。

工程取样时,未能根据不同的地层条件合理选择取土器的结构和取土方法。钻孔的

垂直度、孔内的清洁度、取土器切入土层的速度、土样的封装、保存和运输等都是影响土样采取质量的技术因素。

第二节　采取岩心、土样的一般方法

一、采取岩心的方法

1. 卡料卡取法

卡料卡取岩(矿)心是现场最常用、最简单的一种方法。它适用于硬质合金和钢粒钻进中硬和硬的岩(矿)层。按照卡料的种类不同,可分为卡石卡取法和铅丝卡取法。

(1)卡石卡取法　卡石卡取岩(矿)心,通常用于硬质合金钻进可钻性4~7次级的岩(矿)层。常用卡石料是硬石块碎瓷、碎玻璃等。卡料硬度应与岩(矿)心相适应,硬度太大易挤碎岩(矿)心,硬度太小会被岩(矿)心磨损而卡不住岩(矿)心。卡石大小应根据钻头与岩(矿)心之间的实际环状间隙来选择,粒径一般在2~5 mm,投入量约为100 cm^3。

在投卡石采心时,先将钻具提离孔底70~100 mm,再把卡石按颗粒小、中、大的顺序从水接头中投下,为了防止中途堵塞,必须一边慢投,一边用铁锤不断敲打孔口钻杆。卡石投完后,再开泵用小水量冲,待水流畅通后,再逐渐加大水量,静等几分钟后,将钻具放到孔底。如泵压增高,并有蹩泵现象,证明卡石已到钻头部分。此时停泵开车数转,即可扭断岩(矿)心。

每次采心后,应立即试验采取效果。方法是:把钻具提离孔底1~2 m,再慢慢下降,如能顺利落到孔底,证明岩(矿)心已全部采上;如放不到孔底,则证明下部为残留岩(矿)心阻挡。残留岩(矿)心太多,应立即重采。残留岩(矿)心较少,则可留到下一回次采取。

为了防止岩(矿)心中途脱落,提钻时应做到轻刹车,轻回绳,轻插垫叉,轻卸管,严禁猛墩、猛提钻具。

(2)铅丝卡取法　此法适用于钻进中硬和硬的岩(矿)层,尤其适用于钢粒钻进卡心。一般用8~12号铅丝,根据钻头与岩(矿)心之间的间隙大小,可采用单股和多股拧成麻花形。为了顺利通过钻杆通孔,铅丝的两端应锤尖,其长度应为岩心管内径2倍左右。为了卡取可靠,单股和多股同时使用,先投单股,后投多股。当钢粒钻进较破碎的岩(矿)层时,还可补些钢粒或投以卡石与铅丝混合卡取更为可靠。

卡料投到底后,在送水同时开车进行钻进,直到发现蹩泵或钻进有阻(即岩心堵塞),证明已采上岩(矿)心,即可提钻。

2. 卡簧卡取法

金刚石钻进和针状含金钻进时,由于钻头上的出刃很小,无法使用卡料,特别是使用双管钻具时,根本不能投入卡料,通常使用卡簧卡心。

卡簧卡取法也叫提断器卡取法。它由卡簧与卡簧座所组成,卡簧为开口环形,与卡簧座锥体配合。卡簧上移则张开,下移则闭合。

钻进过程中,随着岩(矿)心进入,卡簧被带到卡簧座上部内径最大位置。钻进终了稍一上提钻具,由于卡簧内径和岩心的摩擦阻力,卡簧相对下移而收缩,以致把岩心卡死而提断。

用这个方法卡取岩(矿)心既安全又方便可靠。它无须卡心工序,既节省了卡料,又缩短了卡心时间。

对卡簧及卡心操作要求:

(1)卡簧应具有足够的强度和弹性。一般需用弹簧钢(65 Mn)及调炭钢(40 Gr)加工,并具有硬度为45~50。如用40号钢加工代替,经热处理,达到相应机械性能时,也可用于生产,但使用寿命要短。

(2)卡簧的自由内径与钻头内径必须合理配合。卡簧的自由内径应比钻头内径小0.3 mm左右。卡簧自由内径过大,则取不上或卡不牢岩心,造成中途脱落或残留岩心过多。卡簧自由内径过小,易造成岩心堵塞。因此,每次下钻前要注意检查钻头与卡簧的配合尺寸。在不更换钻头时,其检查方法是:将卡簧套在岩心上,卡簧对岩心既有一定的抱紧力,又能在岩心上被轻轻推动,即为合格。推动费力卡簧内径过小,停留不住卡簧内径过大。

(3)为了减少残留岩心,设计卡簧安放位置时,应尽量靠近钻头。

(4)正常钻进时,不能提动钻具。否则会过早提断岩心,造成岩心堵塞。

(5)现场应备2~3种尺寸的卡簧,以供选用。每两种的内径以相差0.3 mm为宜。

3. 干钻法

硬质合金钻进软岩或有黏性岩层时,用干钻法采心能收到较好效果。干钻法取心在回次结束前,停止送水,干钻一小段,使岩心自行卡紧而扭断。

采用干钻取心法,应注意干钻的长度,过短挤塞不牢,取不上岩(矿)心;过长虽然挤塞牢靠,但易烧灼岩(矿)心,严重时发生烧钻事故。要根据岩(矿)层性质和干钻难易程度掌握干钻长度,一般为100~200 mm。

4. 沉淀法

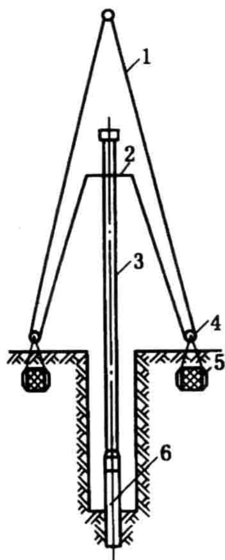
此法适用于反循环钻进。在回次结束停止冲洗液循环,利用岩心管内悬浮岩屑粉的沉淀,挤塞卡牢岩(矿)心。它适合于松硬、脆、碎的岩(矿)层中使用。采用沉淀取心法的关键在于沉淀时间。沉淀时间要根据岩粉颗粒大小、多少、相对密度及冲洗液的黏度等而定,一般为10~20 min。沉淀法常与干钻法联合使用。

二、采取土样的一般方法

1. 连续压入法

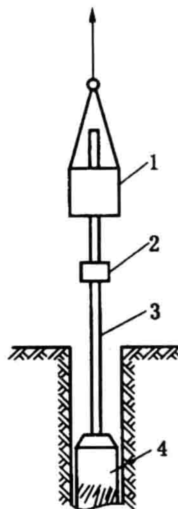
连续压入法如图8-1所示。此法是用组合滑轮装置,将取土器一次快速压入土中进行取样的方法,故又称组合滑轮压入取土法。采用此法,由于取土器能快速均匀地压入土层,土样来不及产生压缩或膨胀变形就顺利进入取土管中,因而能很好地保持其天然

结构状态，土样的边缘扰动较小。此法一般用于在浅层软土中采取土样。



1－压入钢丝绳；2－限位卡；3－钻杆；
4－固定滑轮；5－埋枕；6－取土器

图 8-1 连续压入取土法



1－吊锤；2－打箍；
3－钻杆；4－取土器

图 8-2 上击式取土法

2. 击入法

击入法就是采用吊锤（或加重杆）打击钻杆（或取土器），迫使其切入土层而采取土样的方法。这种方法最适用于较硬或坚硬的土层中。

击入法根据打击位置的不同，可分为上击式和下击式两种。

（1）上击式取土法　此法是在孔上用吊锤打击钻杆而使取土器切入土层取样的方法（如图 8-2 所示）。上击式取土是由钻杆传递冲击力，使取土器在冲击力的作用下切入土层。当取样深度过大，大于钻杆纵向弯曲临界长度时，钻杆柱会产生纵向弯曲，使传至取土器的冲击力大大减弱，并引起振动。另外，钻杆本身是一个弹性体，当重锤下击时，极易产生回弹振动，因而易造成对土样的扰动。由于存在上述缺点，上击式取土法只适用于浅层硬土中。

（2）下击式取土法　此法是在孔上用人力或机械提动孔下重锤直接往复打击取土器，使其切入土层取样的方法（如图 8-3 所示）。在提动重杆（或重锤）时，应使提动高度不超过允许的滑轮距离，以免将取土器从土中拔出而拔断土样。下击式取土法由于重锤（或加重杆）在孔下直接打击取土器，避免了上击式取土法所存在的缺点。它具有效率高、对土样扰动小、结构简单、操作方便等优点。

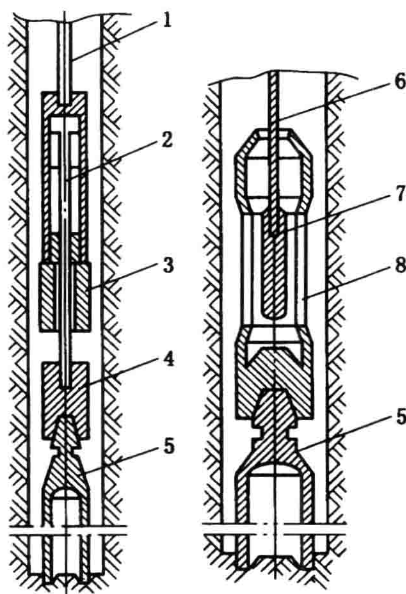
3. 回转压入法

此法适用于钻孔较深，土层较硬，无法使用压入、击入法的机械回转钻孔中，采取原状土样。

机械回转钻进时，可采用旋转式取土器进行干钻采取土样，即边回转，边取土。

如需要采用冲洗液清孔钻进时,可用回转压入式取土器,即双层岩心管取土器采取深层坚硬土样和砂样。取土时,外管回转克取土层,内管承受轴心压力而压入取土。由于内管与外管为滚动接触。因此,内管只承受压力而不回转。外管克取的土屑由冲洗液循环而携出孔外。当泵量过小时,土屑不能全部排出孔口而妨碍外管钻进,甚至进入内、外管之间造成堵卡,使内管随外管回转而扰动土样。

回转压入取土过程中,应尽量不提动钻具,以免提动内管而拔断土样,即使在不进尺的情况下需要提动钻具时,也应控制提动距离,使之不超过内管与外管的滑动范围。



1 - 钻杆;2 - 滑轮;3 - 串心重杆;4 - 打箍;
5 - 取土器;6 - 钢绳;7 - 重锤;8 - 导正套

图 8-3　下击式取土法

第三节　取心、取样工具

一、取心工具

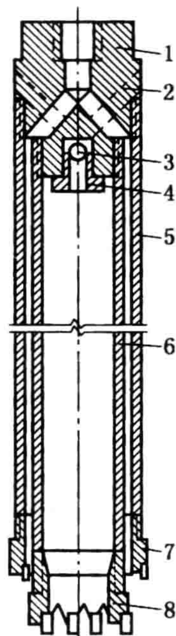
1. 双动双管取心工具

所谓双动双管取心工具,就是在钻进中内、外两管同时回转的双层岩心钻具。钻具结构如图 8-4 所示,它主要由双管接头、内外岩心管、内外钻头、回水球阀座等组成。

钻具的工作原理是:钻进过程中,内、外钻头同时回转克取孔底岩石,冲洗液由钻杆经双管接头上的几个送水孔,进入内外管之间的环状间隙流至孔底。冲洗孔底后,沿孔壁与钻具之间环状间隙返至地表。内管中的液体,由于岩心的进入受到挤压而冲开回水球阀,经双管接头上的回水孔流到钻具之外,与孔底返回的冲洗液汇合返回地表。

双动双管钻具在钻进中可以避免冲洗液直接冲刷岩(矿)心,防止在冲洗液的压力下使岩(矿)心互相挤压和磨损。因此,能够保证足够的岩(矿)心采取率,一般可达80%以上,能获得比较好的岩(矿)心采取质量。由于钻进时内、外管同时回转,不能避免振动、摩擦、摆动等机械力对岩(矿)心的破坏作用,不易保持岩(矿)心的泵状结构。其次,回次进尺一般较短,钻进速度较低。

这种钻具一般只适用于可钻性为1~6级松软、易坍塌、7~8级中硬、破碎、怕冲刷的岩(矿)层中钻进取心。



1-回水孔;2-双管接头;3-球阀;4-阀座;5-外管;6-内管;7、8-内、外钻头

图8-4 合金双动双管钻具

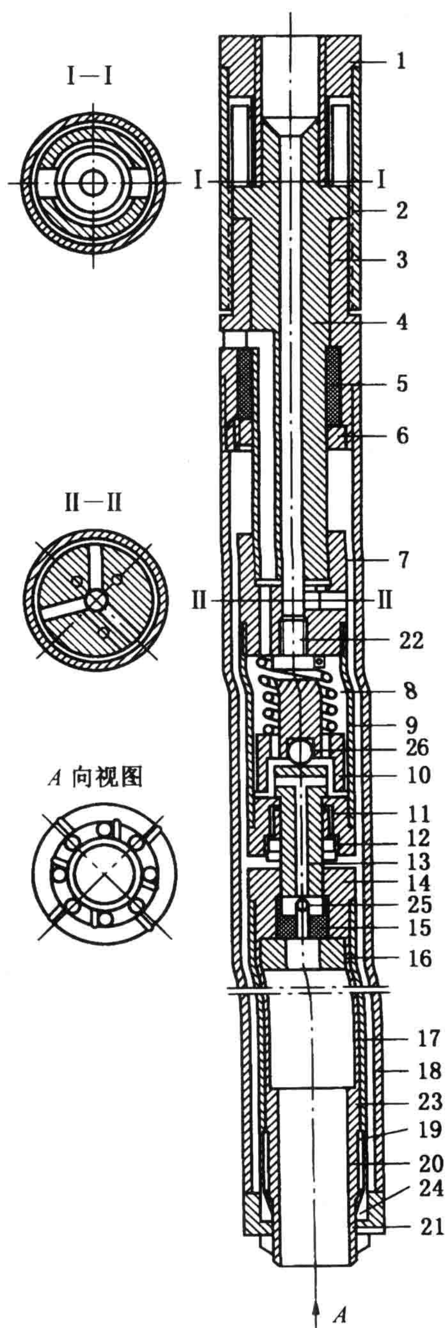
2. 单动双管取心工具

单动双管取心钻具的特点是:钻进中外管转动,内管不动。这样除了防冲刷外,又可以避免振动、摆动、摩擦等机械力对岩(矿)心的破坏作用。有些单动双管在结构上增设有防振、防污、防脱和退心方便的装置。因此,岩(矿)心的采取率、完整度、纯洁性等都有较大提高,代表性也更好。

单动双管取心钻具有:

(1)阿氏单动双管钻具　该钻具主要适用于煤层钻进和1~3级松软的夹层、夹矸少的稳定煤系地层钻进取心。其效果良好,能够取出较完整的柱状煤心和岩心。此外,也可用于钻进1~2级松散、易被冲毁的岩(矿)层,如磷矿、菱镁矿等。

钻具结构如图8-5所示。它主要由异径接头、联动装置、缓冲装置、单动装置、内外管及内外钻头、岩心容纳管和爪簧护心装置组成。



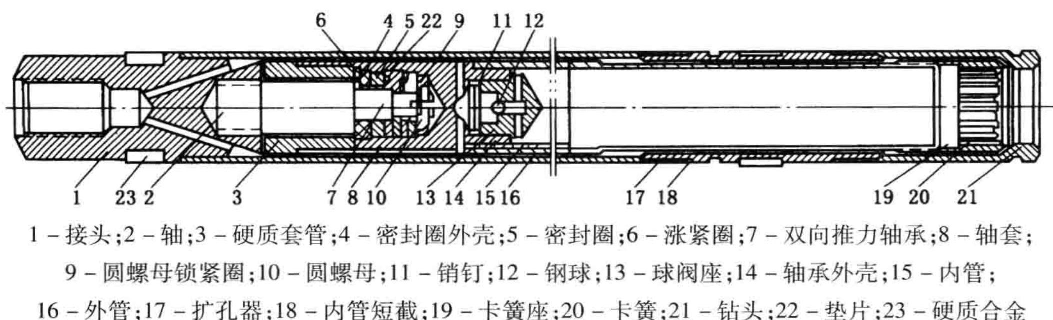
1 – 异径接头;2 – 保护管;3 – 连接器;4 – 拉杆;5 – 塞线;6 – 塞线压帽;7 – 分水接头;
8 – 弹簧;9 – 保护管;10 – 止推座;11 – 密封盖;12 – 锁紧螺母;13 – 支撑杆;14 – 内管接头;
15 – 阀座; 16 – 内管;17 – 岩心容纳管;18 – 外管;19 – 爪簧环;20 – 外钻头;21 – 内钻头;
22 – 调整螺丝;23 – 止动器;24 – 爪簧;25 – 球阀;26 – 止推球球阀

图 8-5　阿氏单动双管钻具

冲孔和钻进时,冲洗液由钻杆通过异径接头、拉杆中心孔、分水接头进入内外管的环

状间隙,经钻头直通孔冲洗孔底,然后由钻具与孔壁的环状间隙返回地表。钻具到底后,内钻头在钻具自重作用下撑开爪簧而紧紧切入岩(矿)层。内管在止推球作用下不转动。外钻头则从联动装置得到压力和转矩,进行碎岩钻进。随着岩(矿)心不断进入容纳管,其内的冲洗液受压而冲开球阀,经支撑杆和止推座的回水孔进入保护管内腔,然后沿分水接头、拉杆和连接器的孔道排至外环间隙。回次结束,关车停泵,提升钻具。由于岩(矿)心与内钻头挤夹紧密,内钻头能拔断岩(矿)心,相对外管先行上升,爪簧露出并收拢而托住岩(矿)心,不致中途脱落。

(2)金刚石钻进单动双管取心钻具　金刚石钻进单动双管取心钻具结构如图 8-6 所示。它主要由单动装置、回水阀、内外管、异径接头、卡心装置、钻头等组成。



1－接头;2－轴;3－硬质套管;4－密封圈外壳;5－密封圈;6－涨紧圈;7－双向推力轴承;8－轴套;9－圆螺母锁紧圈;10－圆螺母;11－销钉;12－钢球;13－球阀座;14－轴承外壳;15－内管;16－外管;17－扩孔器;18－内管短截;19－卡簧座;20－卡簧;21－钻头;22－垫片;23－硬质合金

图 8-6　金刚石单动双管钻具

内管 15 通过轴承外壳 14、硬质套筒 3、双向推力轴承 7 悬挂在心轴 2 上。钻进时扭矩通过异径接头 1、外管 16、扩孔器 17 传至钻头 21,内管保持不动。压力也是通过异径接头、外管、扩孔器传至钻头。冲洗液由钻杆、异径接头出水孔,经内外管间环状间隙到达钻头底部,然后经外管与孔壁间的环状间隙返回地表。岩(矿)心上部的冲洗液受压经回水阀流到内外管环状间隙中。

3. 绳索取心

绳索取心是不提钻取心钻进方法之一,即在回次结束提取岩(矿)心时,不必提升全套钻具,而是采用带绳索的打捞器从钻杆中把取心管提到地面,待把岩(矿)心取出后,又从钻杆中把取心管投放到孔底再继续钻进。

绳索取心的优点既是一种新的取心方法,同时又是一项岩心钻进的重大技术改革。实践证明,绳索取心钻进较之其他取心钻进具有下列优点:

(1)提高钻进效率　由于不提钻取心,升降作业的辅助时间大为缩减,纯钻时间相对增加,因而能提高台月效率和台月进尺。

(2)提高钻头寿命　由于提钻次数减少,对金刚石钻头损坏的机会也相应减少;钻与孔壁的间隙很小,钻头工作稳定,相对地提高了钻头寿命。

(3)孔内安全和有利于钻穿复杂地层　由于钻杆与孔壁环状间隙小,岩粉上升速度快,保孔底清洁。升降钻具次数减少,孔壁裸露机会少,同时也减少了由于升降钻对孔壁造成的抽吸、挤压、冲击等作用,相对地增加了孔壁的稳定性。

(4)减轻了工人操作强度

(5)有利于提高岩(矿)心采取率和品质

由于绳索取心比提钻取心简便,提取岩心及时,减少了岩心自磨损失。同时提取岩心速度快且平稳,使岩心脱落机会少。

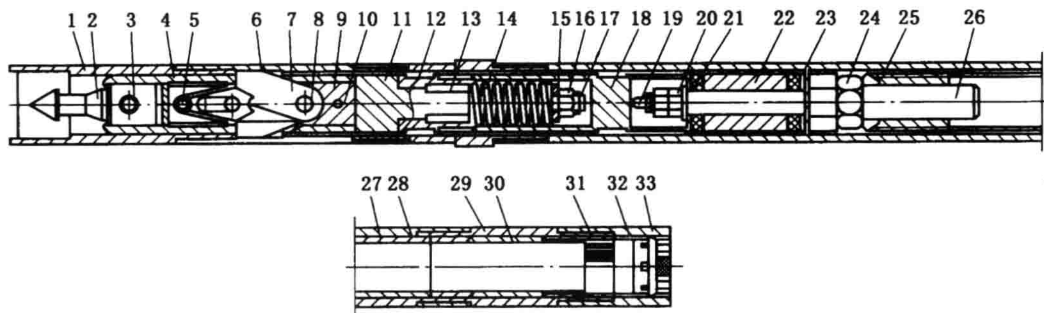
绳索取心钻进可用于金刚石钻进和硬质合金钻进。钻头寿命越长越能显示其优越性。

绳索取心钻具的结构原理:目前国内采用的绳索取心钻有由地质矿产部勘探技术研究所设计的SB56型和经改进后的SC56型,有色地勘所设计的YS45、YS55型几种。这里重点介绍SC56型钻具。SC56型绳索取心钻具的技术规格(如表8-2所示)。

表8-2 SC56型绳索取心钻具的技术规格

钻具名称 \ 规格	外径/mm	内径/mm	长度/mm	质量/(kg·m^{-1})
钻　头	56±0.5(0.3)	34.5	80	–
扩孔器	56.5±0.1	–	140	–
钻　杆	53	44	3000	5.35
钻杆接头	54	43	130	–
外　管	54(Φ53)	44.5(Φ44)	3000	5.77(5.33)
内　管	41	37	2700	1.9
打捞器	32	–	1500	总重12kg

SC56型绳索取心钻具由专用双管和打捞器两部分组成。内管总成包括弹卡、单动、调节、卡心等机构。外管总成包括上接头、外管、扩孔器、钻头等。双管结构如图8-7,打捞器结构如图8-8所示。



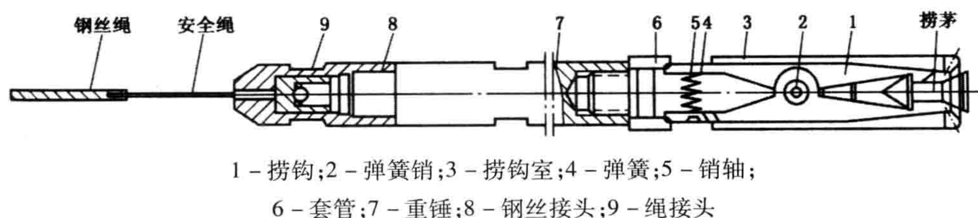
1–长接头;2–茅头;3–弹簧销;4–收卡筒;5–弹卡弹簧;6–弹卡室;7–弹卡板;8–弹簧销;9–支块; 11–弹卡支座;12–内接头;13–键;14–弹簧;15–垫片;16–锁母;17–插销;18–弹簧室;19–油杯;20–螺母;21、23–轴承;22–轴承座;24–调节螺母;25–内管接头;26–心轴;27–外管;28–内管;29–扩孔器;30–短节;31–卡簧;32–卡簧座;33–钻头

图8-7 SC56型绳索取心钻具

SC56型绳索取心钻具主要机构原理:

(1)弹卡机构　主要由茅头2、收卡筒4、弹卡弹簧5、弹卡板7等组成。挂在内管28

上,保证内岩心管处于外管中的预定位置,防止上移和下落。上限位由内管上的弹板和外管上的弹卡室组成,弹卡板可卡入弹卡室的沟槽中以实现定位。下限位由外管能座和内管的台阶组成,内管台阶可坐于外管座环上,以悬挂整个内管。弹卡机构的另一作用,是实现打捞岩心管。在打捞岩心时,打捞器的捞钩靠自重套进内管上的茅头,上捞茅,收卡筒上升即将弹卡板收拢、脱卡、得以提升内管。



1 – 捞钩;2 – 弹簧销;3 – 捞钩室;4 – 弹簧;5 – 销轴;
6 – 套管;7 – 重锤;8 – 钢丝接头;9 – 绳接头

图 8-8 SC56 型绳索取心打捞器

(2)单动机构 单动机构中有两副止推轴承,保证心轴 26 不随收卡筒 4 和外管 27 一起转动,从而实现单动。

(3)调节机构 设有调节螺母 24,以调整内管下端与钻头间距离,以适应不同岩(矿)层性质钻进的需要。

在弹卡板支座下部装有改善内管工作条件的弹簧 14,即当强力提断岩心时,弹簧被压缩。内管相对“下移”使卡簧坐落在钻头内台阶上,由钻头承担提拔岩心的力量,以保护内管丝扣。

(4)打捞器 主要由打捞钩、重锤和安全绳等组成。重锤的作用是加快打捞器的下降速度,以节省打捞时间。安全绳是一截细绳,当内管因某种原因被卡死而提不上来时,可强力提断安全绳,再提钻处理。

此外,内管是靠自重投放下入的,为了加快下降速度借水泵压水推送。如当孔内漏水,则预先向钻杆内注满冲洗液,并迅速将内管投入钻杆内,仍借助其自重和随同冲洗液的漏失落到预定位置。

SC56 型取心钻具附属设备:

SC56 取心钻具的附属设备和工具包括:绞车、钻杆夹持器、提引器、自由钳和钻杆等。但钻杆夹持器、自由钳、提引器等工具已在钻探设备中介绍,在此省略。

(1)绞车绳索取心绞车用于提升和下降内管。绞车分自带动力驱动和钻机动力传动两种。常用的为由钻机动力传动的 S56J-1 型绞车,其主要技术规格如表 8-3 所示。

表 8-3 S56J-1 型绞车技术规格

绞车型号	S56J	S56J-1	备注
卷筒尺寸/mm	Φ168×280	Φ168×325	外缘直径 Φ400
卷筒容量/m	800	1100	Φ4.8 ~ Φ5.2 钢
最小提升速度/($m \cdot s^{-1}$)	0.7	1.05	绳使用钻机一台
最大提升速度/($m \cdot s^{-1}$)	1.8	2.22	
动力机	汽油机 4.4 kW,电动机 4.5 kW	钻机传动	

(2)钻杆绳索取心钻进中,钻杆既要传递动力,还要从中升降内管捞取岩心。因此,

绳索取心钻杆不仅要求使用薄壁优质钢管，而且要求连接的扣型合理，精度高和进行调质处理，以使其强度满足钻进要求，又不容易产生变形和丝扣漏水。绳索取心钻进使用的钻杆规格为 53 ×4.5 mm，钢种为 $40Mn_2MO$、30 CrMnsiA 或 45 MnMoB。

钻杆两端都车公扣，以保证加工精度，两端分别用环氧树脂胶黏结公母接头。接头钢材 45 MnMoB，经调质处理，使硬度达到 HRC = 30 ~ 32。接头内径比钻杆内径小 1 m，外径比钻杆大 1 mm。接头最好镀铬以增强耐磨性，镀层厚度 0.05 ~ 0.1 mm。

当前正在试用等离子焊接钻杆或摩擦焊接接头的办法加工绳索取心钻杆，这可合理选用材质，提高加工精度，改善接头质量。

二、取样器

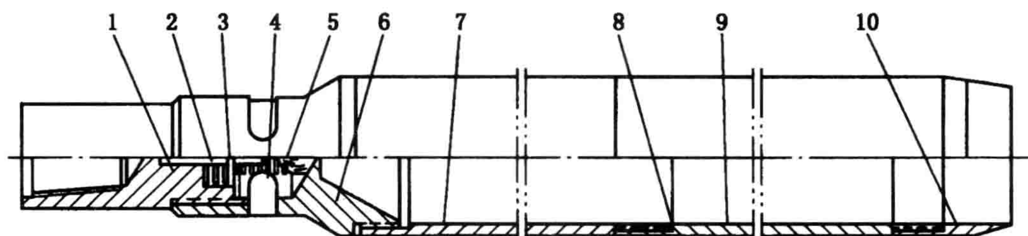
取样器亦称取土器，取土器的种类很多。根据取土器下端是否封闭可分为敞口式和主式两类。根据取土器上部封闭形式可分为球阀封闭式、活阀封闭式、活塞封闭式。根据马器的壁厚可分为薄壁取土器和厚壁取土器。根据封闭形式的不同，取土器分类如表 8-4所示。

表 8-4　取土器分类表

敞口式取土器	球阀式取土器	自由球阀式、限制球阀式	
	活阀式取土器	上提活阀式、下压活阀式	橡皮垫密封式、双锥面密 封式、下旋式弹簧下压式
	回转压入式取土器	有弹簧调节式、无弹簧调节式	
封闭式取土器	自由活塞式取土器	浮动活塞式、简易打人式活塞式	
	固定活塞式取土器	球卡式、水压式	

1. 限制球阀式取土器（如图 8-9 所示）

在压入（或击入）土层中采取土样时，取土器内的液体或气体顶开球阀，自取土、排出。当停止压入时，弹簧将球阀压回阀座，使取土器密封而与钻杆柱内的水柱隔离。制球阀式较自由球阀式（上部无弹簧）密封可靠，但弹簧强度及压力应选择适当，球径应与阀座排水孔的直径相适应。



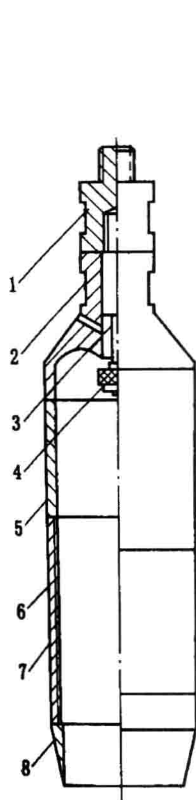
1 – 接头；2 – 调节垫片；3 – 调节螺丝；4 – 弹簧；5 – 球阀；
6 – 异径接头；7 – 余土管；8 – 衬管；9 – 取土器；10 – 管鞋

图 8-9　限制球阀式取土器

2. 上提橡皮垫活阀式取土器（如图 8-10 所示）

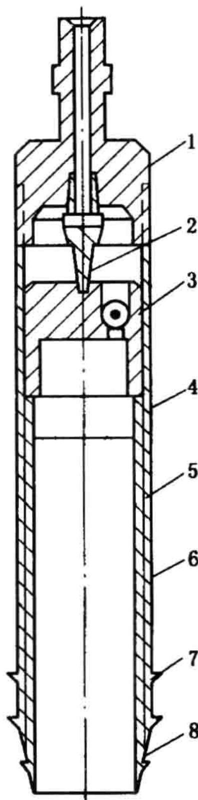
这种取土器的特点是：连接帽与操纵杆采用套接；橡皮垫活阀固定在操纵杆上。橡

皮垫活阀随取土器的上提和下压而与连接帽封闭和离开,从而实现排出取土管内的气、水和隔离钻杆内的水柱。



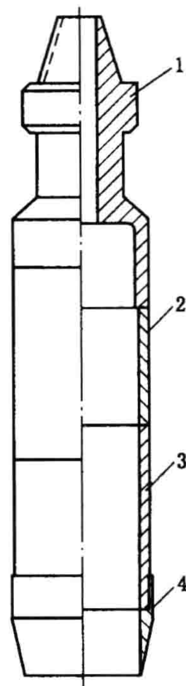
1－接头;2－连接帽;3－操纵杆;
4－橡皮垫或阀;5－斜土管;
6－衬管;7－取土管;8－管鞋

图 8-10　上提橡皮垫活阀式取土器



1－接头;2－异向头;3－异径接头;
4－余土管;5－外管;6－取土管;
7－螺旋片;8－管鞋

图 8-11　回转压入式取土器



1－管头;2－余土管;
3－采土管;4－管鞋

图 8-12　黄土层取土器

使用时,用钻杆下压取土器,土样便进入取土管中,土样上部的水、气则由活阀与连接帽之间的空隙中经连接帽的排水孔排出。提出取土器时,上提钻杆使橡皮垫活阀上升而压紧连接帽,封闭取土器上端,即可使土样安全提出。

这种取土器的优点是橡皮垫活阀与连接帽为线接触,密封性能好。另外,橡皮垫有一定的弹性变形,当橡皮垫与连接帽接触有砂粒时,亦不致影响密封的可靠性。

3. 回转压入式取土器

回转压入式取土器实际是双层岩心管式取土器(如图 8-11 所示)。外管底端焊有螺旋片或接有合金钻头,内管与一般球阀式取土器类似,有管鞋、取土管、余土管。上端用球阀封闭。取样时,外管回转钻进,内管压入取样。这种取土器可用于人力回转钻进和机械回转钻进的钻孔。

人力回转钻进时,采用焊有螺旋片的外管,一般不用冲洗液。在回转压入取土过程中所克取的废土,则由外管外表面的螺旋片带出孔口。

机械回转钻进时,外管下端接有合金钻头破碎岩土而内管压入取样,孔内废土用冲洗液排除孔外。

4. 黄土层取土器

黄土层取土器实际上是一种简易取土器(如图 8-12 所示)。它由接头、余土管、采土管、管鞋组成。取土样时,用钻杆将取土器压入黄土层中后,提出即可。这种取土器适用于黄土颗粒均匀而细小,具有一定黏结力,其塑性与附着力也较强,且位于地下水面以上的黄土层中采取原状土样。

第四节　岩心、土样的补取

一、捞取岩心的方法

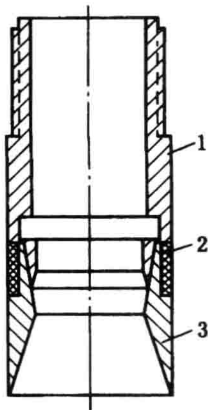
在硬、脆、碎的岩(矿)层中,如岩(矿)心未被采取上来,可采用下列钻头配合单管、双管或喷反钻具进行捞取孔底的残留岩(矿)心。

1. 卡簧岩心捞取器

卡簧岩心捞取器的结构如图 8-13 所示。它与普通卡簧取心装置相似。其下端成喇叭口,以易于套取岩(矿)心。卡簧座的锥度稍大,以保证捞心可靠。使用时以压为主,转动为辅,压转结合。送到孔底捞取岩心时,中途不许提动,一般效果很好。

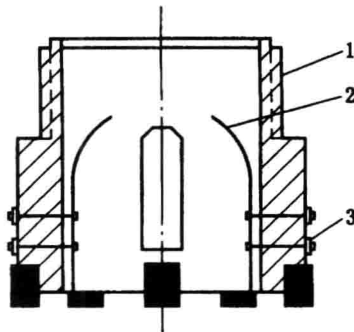
2. 弹簧片钻头

弹簧片钻头结构如图 8-14 所示。在普通硬质合金钻头内壁上刻 3 ~4 个深 mm、宽度与弹簧片相同的浅槽,将长 50 mm 上端稍向内弯曲的弹簧片嵌入浅槽内,然后用铆钉和钻头铆接。此种钻头只是用来捞取岩(矿)心,不能回转钻进使用,否则会损坏弹簧片,失去收拢岩(矿)心的作用。在捞取岩(矿)心时,可用立轴向下慢压,并以适当转动相结合,将孔底岩(矿)心收拢于岩心管内,即可提钻。



1 – 接头;2 – 卡簧;3 – 捞心筒图

图 8-13　卡簧岩心捞取器



1 – 接头;2 – 弹簧片;3 – 铆钉

图 8-14　弹簧片钻头

3. 钢丝钢粒钻头

钢丝钢粒钻头结构如图 8-15 所示。在钢粒钻头壁上钻两圈直径为 8 ~ 10 mm 的小孔，孔数根据钻头直径而定。将钢丝绳按钻头内径 2/3 的长度轧断，分成单股嵌入钻头的小孔中，再用铆接或焊接的方法固定，并将钻头外表修磨光滑即成。此钻头适用于坚硬、破碎岩(矿)层中钻进，亦可用来捞取残留岩(矿)心。

如图 8-16 所示为钢丝硬质合金钻头。

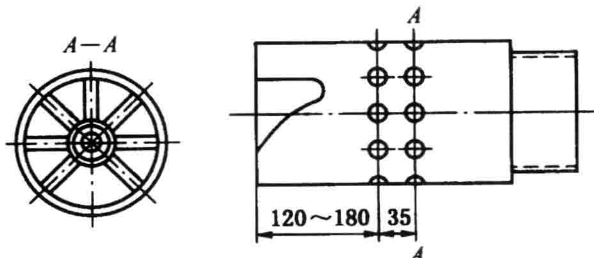


图 8-15　钢丝纲粒钻头

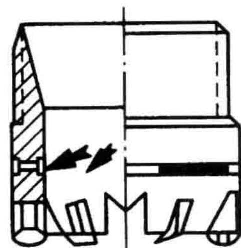


图 8-16　钢丝硬质合金钻头

二、空壁取样

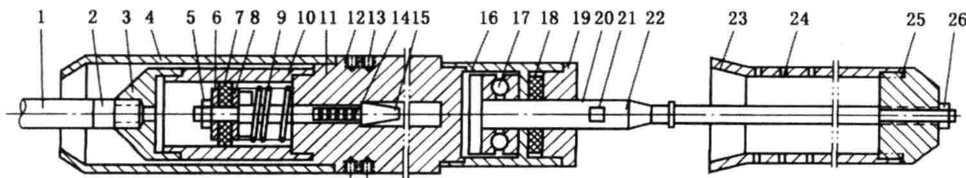
在煤田钻探过程中，往往由于某种原因造成煤心采取质量不高，如采取率低，煤心烧焦或打丢煤层，可采用物探测井定位，结合孔壁取样方法加以补救。

当煤层的层位和层厚清楚，煤层被打丢、打薄或煤心烧灼变质时，可采用孔壁取样的方法补取煤样，以满足化验的要求。但是煤层复杂，夹矸多，变化大时，孔壁取样不能准确地划分煤、夹石和顶底板的换层界面，因而不能用来校正煤层的厚度。

下面介绍几种常用的孔壁取样工具。

1. 刮煤取样器

刮煤取样器的结构如图 8-17 所示。用钻杆将刮煤取样器下到预定的刮煤孔段后，接上钻杆，开泵送水，胶皮活塞 7 在泵压的作用下，克服弹簧 9 的弹力，带动齿杆 14 向下移动，齿杆上的齿条驱使刀架上带齿的刮刀向两侧张开，接触孔壁，借助钻具的回转而刮落孔壁上的煤。刮下的煤块落入取样筒 23 中。停泵后，在弹簧 9 的弹力作用下，活塞带动齿杆 14 向上移动，刮刀收拢，即可提钻取出煤样。

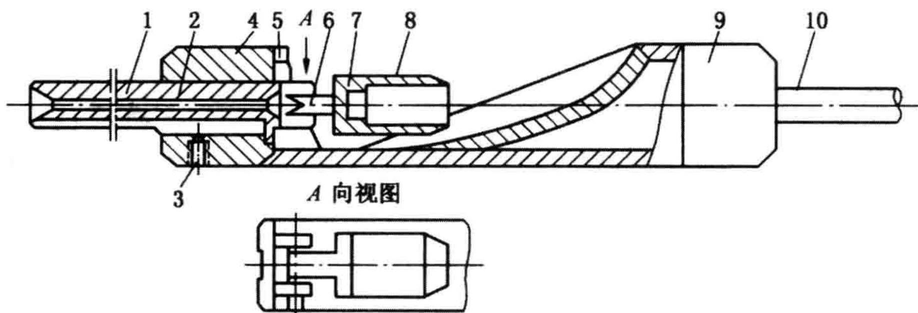


1 – 钻杆；2 – 钻杆接头；3 – 上接头；4 – 导水管；5 – 螺帽；6 – 上垫圈；7 – 胶皮活塞；8 – 下垫圈；9 – 弹簧；10 – 活塞套；11 – 大接头；12 – 半圆固定钢套；13 – 螺钉；14 – 齿杆；15 – 刮刀；16 – 轴承座；17 – 轴承；18 – 塞线；19 – 塞线压盖；20 – 轴承杆；21 – 销子；22 – 连接杆；23 – 取样筒；24 – 水眼；25 – 接头；26 – 螺帽

图 8-17　刮煤取样器

2. 压煤取样器

压煤取样器的结构如图 8-18 所示。它主要由压杆、取样筒、偏斜管、滑键、接头等部分组成。压杆 1 上开有长键槽，可沿滑键 2 上、下滑动，又能带动压煤器上下移动和转动，压杆下部有台肩，使整个压煤器借上接头 4 悬挂在台肩上。滑键 2 用螺钉固定在接头 4 内。取样筒 8 用丝扣连接在取样筒接头 7 上，取样筒接头用销钉 6 与压杆连接，压杆下端开有矩形切口，取样筒 8 可绕销钉摆动。



1 – 导杆；2 – 滑键；3 – 稳钉；4 – 上接头；5 – 偏斜管；6 – 销钉；
7 – 取样筒接头；8 – 取样筒；9 – 接头；10 – 钻杆

图 8-18　压煤取样器

其工作原理是：压煤器下到补取煤层部位后，通过钻杆使导杆 1 沿滑键 2 往下移动，带动取样筒 8 沿偏斜面下行，强力压入孔壁，使煤样挤入取样筒。取样后，提出压煤器更换压煤筒，改变取样部位，再行补取。

该工具结构简单，加工方便，操作容易，补取煤样的代表性强。但煤段较硬或孔壁垮塌过大时，使用效果较差。

三、人工造斜补取岩(矿)心

利用上述方法均达不到补样要求时，可用人工造斜补取岩(矿)心。这种方法适用于各种不同的岩(矿)层，补取上来的岩(矿)心质量较高。此法的实质是利用各种导斜器在已钻过的钻孔中于需补取岩(矿)心的孔段上部，重新打一个斜孔，达到取心补样的目的。

目前所采用的导斜器种类很多，如有开口式、闭口式导斜器等，详细内容将在定向钻进部分介绍。

复习思考题

1. 地质勘探对岩矿心采取有哪些基本要求？
2. 影响岩矿心采取质量的因素有哪些？
3. 采取岩矿心的一般方法有哪几种？各适用于什么条件？
4. 试说明绳索取心钻具的工作原理。
5. 绳索取心钻具设置了哪些机构？各起什么作用？
6. 单层双向岩心管钻具起到的主要作用有哪些？

第九章　钻 孔 弯 曲

第一节　概　　述

为了探明地下矿产资源而施工的每一个钻孔,都必须按地质设计的要求,准确地钻到预计的空间位置或矿体部位。在钻孔施工过程中,由于种种原因,经常会使钻孔轴线偏离既定的空间位置,发生程度不同的钻孔弯曲。

钻孔弯曲是钻探质量优劣的重要指标之一。了解钻孔弯曲情况,分析弯曲原因,找出弯曲规律,采取一切措施防止钻孔弯曲或将钻孔弯曲控制在一定范围内是钻探工作的一项艰巨任务。

钻孔弯曲度若超过了地质设计的要求,不仅给钻进工作带来很多困难,重要的是对地质勘探成果造成严重的危害,这种危害主要包括地质工作和钻探工作两方面。

1. 在地质工作方面

钻孔过度弯曲不仅会降低取心质量,而且不能穿过预定的见矿点,或者从设计的勘探线偏到另一条勘探线,从而得不到符合客观实际的地质资料,造成地质情况失真,影响对矿床的合理评价,也给矿山开采设计带来错误信息,如图 9-1 所示的情况。

(1)钻孔弯曲不能按设计要求穿过预定的构造带(未发现断层)时,会使地质构造的形态和位置被歪曲,如图 9-1(a)所示。

(2)钻孔弯曲使控矿的间距减小或增加时,会造成矿产储量计算失真。图 9-1(b)左为控矿间距减小,就会减少可计算的矿产储量;图 9-1(b)右为控矿间距增大,会使储量级别降低。

(3)钻孔弯曲未见到矿时,会使预计要见到的矿层被打漏掉,如图 9-1(c)所示。

(4)钻孔顺层跑,与矿体平行钻进时,就不能穿透矿体,歪曲矿体厚度,如图 9-1(d)所示。

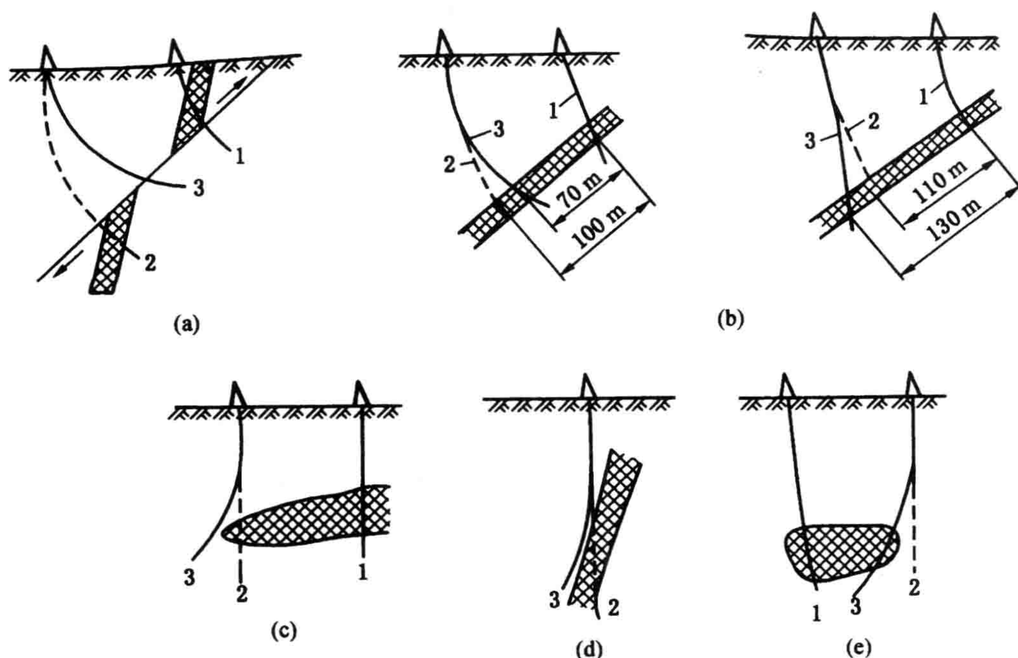
(5)相邻两个钻孔,若相向弯曲时,可能把小矿体歪曲成大矿体,如图 9-1(e)所示。

2. 在钻探工作方面

(1)钻孔弯曲过大,钻具回转阻力增大,造成钻具在孔内回转困难。

(2)钻孔弯曲过大,容易引起钻具折断,同时升降钻具,起下套管也很困难。

(3)因钻具的一部分紧贴孔壁,难于确定合理的、真实的孔底钻压,压力损失大,不仅增大了动力消耗,而且金刚石钻进开不出高转速。



1－已有钻孔;2－设计钻孔;3－设计钻孔弯曲

图9-1　钻孔弯曲对地质成果的影响

(4)弯曲严重的孔易出现,如岩(矿)层破碎不完整,受钻具的强烈敲击,极易引起孔壁坍塌、掉块,从而造成卡、埋钻等事故。

(5)在弯曲的钻孔中发生孔内事故不易处理,往往使孔内事故更加复杂化。

(6)因钻孔弯曲而达不到地质设计要求,就必须纠斜,从而增加工作量,影响施工进度。

综上所述,钻孔弯曲既影响钻探施工的速度,又关系到矿产储量计算、矿体空间位置和岩层构造的准确性。在钻探工作中必须根据引起钻孔弯曲的原因,积极预防钻孔弯曲。并按规定要求,及时准确地测量钻孔弯曲度,掌握钻进中孔身的空间位置。如果钻孔偏斜的方向和角度超过地质设计要求,就应采取措施进行矫正,将钻孔弯曲度控制在允许范围内。

钻孔弯曲度,就是实际钻孔轴线偏离设计钻孔轴线的度数或程度。它是衡量钻探质量的重要指标之一。

在施工过程中,对各种类型的钻孔轴心线允许偏离的范围是根据各项工程的性质与要求确定的。地质岩心钻探操作规程规定:钻孔顶角的最大允许弯曲度,在每100 m间距内,直孔不得超过2°,斜孔不得超过3°,随着钻孔的加深可以递增计算。钻孔方位角的最大允许偏离度,应根据钻孔的深度和矿床的类型等情况而定。如勘探煤矿的钻孔,其方位角的偏离规定为:不超过设计方位20°的为甲级钻孔,不超过30°的为乙级钻孔。目前,有的也以见矿点不超过勘探网距±1/3～±1/4为标准来衡量。

第二节　钻孔弯曲的原因

一、地质方面的原因

由于钻进不同的地层以及岩层的产状不规则,软硬不均或松散无胶结或胶结差的破碎带、砾石层、断层、空间等地质条件的因素是造成钻孔弯曲的重要原因之一。

1. 各向异性的岩层

对有层理和片理构造的岩石,当外力垂直其层面或平行其片理作用时,它们表现的力学性能指标是不一致的,称为岩石的各向异性。

在层理和片理构造的岩石中钻进,由于层状岩石的各向异性,钻头朝着钻进阻力最小的垂直于层面方向偏斜。因此,钻孔的顶角和方位角都趋向垂直岩层层面方向弯曲。

异向性越强的岩石,钻孔弯曲的程度越大。一般来说,火成岩体岩石的各向异性不明显,钻孔弯曲程度小些;变质岩类(如片麻岩)和层理发育的沉积岩(如片岩、页岩等)的各向异性强,钻孔弯曲程度也越大。

2. 倾斜的软硬不均的交错岩层

钻孔穿过倾斜的软硬互层时,因软硬岩石抵抗破碎的能力不同,使孔底产生不均匀破碎,造成钻速差,引起钻孔顶角及方位角的变化。

钻孔偏斜的方向和顶角变化率,取决于钻孔轴线与岩层面的夹角(遇层角)和软硬岩石的硬度差,差值越大,钻孔弯曲率越大。

3. 地质构造复杂和自然破碎的地层

在这类地层钻进,钻孔也会发生顶角和方位角的变化。

(1)在松散的流沙层或破碎层钻进斜孔时,因其具有流散性,在钻具的自重作用下,钻孔极易下垂。

(2)遇大溶洞时,斜孔钻进由于重力作用,钻孔顶角会急剧缩小而向下弯曲。直孔钻进由于孔底不规则,粗径钻具也易偏离钻孔轴线而发生弯曲。

(3)钻进中,遇到大的裂隙或断层,其方向和角度又与钻孔的方向和角度相近似时,钻孔会沿裂隙或断层的方向和倾角发生弯曲。

(4)在松散的地层中遇到大的砾石、卵石等坚硬的包裹体时,钻孔会沿其斜面弯曲。

二、施工技术方面的原因

1. 设备性能及安装

钻机陈旧或性能不良,不能保证粗钻具的一定方向和角度时,就会发生钻孔弯曲。如钻机的回转给进部件导向性差,立轴导管松动,立轴箱固定不牢,油压机滑道松动等,均会造成钻孔弯曲。

钻机没有水平地安装在固定的基础上,地基填方多,不坚固,使得基台枕受力不均,

造成钻塔、钻机倾斜；塔上滑车、钻机立轴和钻孔没在同一轴线上；钻机立轴（或转盘）没有准确地固定在既定的倾角和方位上，这些都会导致钻孔弯曲（如图9-2所示）。

原设计钻孔为直孔，其轴线为 OO_1，孔深为 L_1，在安装时，若立轴偏斜 角，则 $R = L_1\tan\theta$ 为偏离原孔底（O_1 点）的半径 O_1A_1， 角越大，L_1 越长，则 R 值越大。

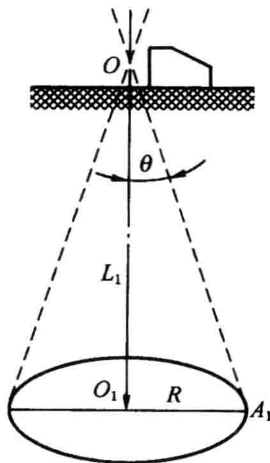


图9-2 钻孔立轴偏离设计的钻孔轴线

2. 开孔换径

在开孔时，使用的钻具同心度差；随着钻孔的延深而没及时加长粗钻具；在下定向管时，它与钻孔不同心，上、下固定不牢而松动，不起导向作用也会引起钻孔弯曲。

换径或扩孔时，没有使用导向钻具或导向钻具太短等都容易造成钻孔弯曲。

3. 钻进方法

钻进方法不同时，孔径与钻具（主要是粗径钻具）之间的间隙也不相同。而两者之间的间隙，是造成钻具在孔内偏斜的重要条件。间隙越大，则钻具轴心线与钻孔轴心线的夹角愈大，钻具偏斜也越严重。

4. 钻进技术参数

不视地质和设备条件而盲目采用强力钻进技术参数，追求进尺，也会促使钻孔弯曲率增大。如钻压过大，钻杆弯曲严重，迫使粗径钻具上端靠向孔壁，使粗径钻具轴线偏离原孔轴线；过高的转速，会使钻具离心力增大，从而加剧了钻具的横向振动，扩大了孔壁；钻进松软地层时，冲洗液量过大，冲刷孔壁严重，使孔壁间隙急剧增大；钢粒钻进时，水量过小，钢粒、钻粉多集中于孔底，也会增大孔壁间隙；采用大直径钢粒，投砂量过多或一次投砂法等，也都会使孔壁间隙增大。所有这些不恰当的钻进技术参数都会增大钻孔的弯曲率。

此外，在处理孔内事故时，由于技术措施和操作不当，也可能造成孔斜。

5. 钻具结构

（1）钻具的级配钻具在孔底工作时，当钻压增加到临界值时，钻杆柱就失去直线稳定的形状而发生弯曲，且与孔壁有接触点，此点称为切点。当钻杆柱在钻孔中处于弯曲状

态时，钻具不再保持原始孔轴线方向，而对孔壁产生侧压力作用。因而，在钻进中就会发生钻孔弯曲。当钻具级配不合理，钻孔与钻杆柱的间隙比差增大时，钻杆柱的挠度增大，弯曲钻杆柱对孔壁的侧压力也愈大，钻孔弯曲率也就越大。

(2)钻具的刚性钻具在孔底钻进，主要是靠粗径钻具在孔内导正，一般来说，粗径钻具刚性愈好在孔内导正愈好，钻具轴线与钻孔轴线愈接近，则孔斜率愈小。如果粗径钻具刚性差，而作用力超过极限时，则钻具发生弯曲，此时钻具与钻孔二轴线形成夹角(轴偏角)，于是钻头偏斜钻进而造成钻孔弯曲。因此，粗径钻具的刚性愈差，其弯曲越严重，则轴偏角越大，钻孔弯曲也就越严重。

(3)粗径钻具长度如前述，根据以下公式可以看出：

$$\tan = f/L$$

当间隙一定时，增加粗径钻具长度 L，则轴偏角迅速 θ 减小，孔隙率也会减小。但是，当 L 增加到一定程度后，再增加 L，则 θ 减小很少。

因此，粗径钻具长度应合理。

(4)粗径钻具质量 粗径钻具质量差(如不圆、不同心)，钻进时钻头工作不稳定，易扩大孔壁而造成钻孔弯曲。

第三节 钻孔弯曲的预防

预防钻孔弯曲(防斜)是一个保证钻探质量的突出问题，也是保证安全钻进和提高钻进效率的重要前提。因此，在钻探施工过程中采取“预防为主”的方针非常重要。

从钻孔弯曲的原因分析可知，引起钻孔弯曲的地质因素是客观存在的，不可消除的，但是可以通过实践掌握它的规律，采取措施限制它的作用范围，或者利用它的自然弯曲规律来满足地质要求，达到防斜的目的。技术因素造成的钻孔弯曲可以改变，只要采取合理的技术工艺措施，就能把钻孔弯曲减小到最低限度。

对某一具体矿区而言，预防钻孔弯曲的主要途径是，应通过少量的钻孔施工，认真总结该矿区的钻孔弯曲规律，全面分析地质因素和技术工艺等因素的关系，从而利用钻孔弯曲规律辅以人工的措施，预防钻孔的弯曲。

下面介绍几项主要的防斜措施：

1.确保设备安装质量，把好开孔质量关

预防钻孔弯曲必须从设备及其安装、开孔、下定向管起做好，要着重抓好以下3点：

(1)使用合格的钻机　钻机回转给进系统工作必须正常，变角机构牢靠，钻机滑轨和机器之间不能松动等。

(2)设备安装　应符合标准，钻机必须正确、水平地安装在坚固的基台上，地基的填方不能超过1/3；塔上滑车、钻机立轴和孔位应在同一轴线上；必须把钻机立轴(或转盘)准确地固定在既定的倾角和方位上，钻进中经常检查，随时校正。

(3)开好孔 开孔时，使用的钻具一定要直，钻具组连接要同心；随着钻孔的延深要及

时加长粗径钻具;孔口管应严格按设计倾角和方向下到孔内,上下固牢,不准松动。

2. 正确选择钻具结构,增强导向性和稳定性

(1)钻具级配要合理　粗径钻具与钻杆柱的直径不应相差悬殊,应尽可能把钻杆与粗径钻具之比降到最小程度。

(2)粗径钻具与孔壁的间隙要小　减小孔壁间隙的办法之一是,要尽量采用产生孔壁间隙小的钻进方法;办法之二是,采用与孔壁有更多接触的钻具,以改善粗径钻具与孔壁的接触状态,使孔壁起到导正粗径钻具的作用。

为了使粗径钻具在孔内既要减少间隙,又要与孔壁接触,就常用扶正器(稳定器)(如图 9-3 所示)。一般来说,既要降低孔壁间隙,又要与孔壁有接触点,以利导向,采用钻铤并配置两个扶正器,会起到降低钻孔弯曲的良好效果。

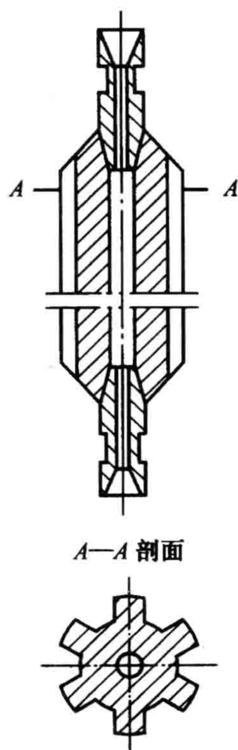


图 9-3　带水槽的特制扶正器

(3)粗径钻具的刚性要大　增加粗径钻具的刚性,以保证在大钻压、大扭矩负荷下不发生过量的变形,是控制钻孔弯曲的主要措施。

钻具刚性用轴弹性模数 E 乘轴惯性矩 J 表示,E 是材料的性质系数,是个定值。所以,刚性大小与轴惯性矩 J 成正比。由计算公式可知,轴惯性矩与钻具直径的四次方成正比,且钻具壁愈厚,轴惯性矩愈大,则钻具惯性增大。因此大径管比小直径管弯曲小,同径管中厚壁比薄壁的弯曲小。

(4)粗径钻具长度要合理　由于粗径钻具与孔壁之间存在间隙,所以要求孔底粗径钻具有一定的长度。当间隙不同时,合理的长度也将不同。一般间隙小时,合理长度要

小些。对金刚石钻进而言,其合理长度为 3 ~ 5 m 左右;合金钻进时,其合理长度为 7 ~ 9 m;对钢粒钻进,合理长度达 20 m 左右。

(5)使用钻具要正确

①使用的钻具必须不弯曲、不偏心、不扁;连接后其轴线要同心。

②在可能的条件下,尽量采用钻铤加压,使轴压与钻孔轴线重合,以减少偏斜力。钻铤长度应按下列公式计算:

$$L = PK/q$$

式中L—钻铤长度,m;

K—系数(1.25 ~ 1.5);

P—孔底所需轴压,N;

q—每米钻铤重,kg/m。

③换径、扩孔时必须常带有导向器,连接后必须同心。

④钻进中如遇较大溶洞,应先用长岩心管,穿过溶洞后再下套管。

3. 合理选择钻进规程参数,严格控制孔壁间隙

(1)选择合理的钻进方法　大力发展金刚石小口径钻进,扩大硬质合金使用范围。必须使用钢粒钻进时,要采取措施控制孔壁间隙。另外,采用冲击回转钻进法也有利于防止或减少钻孔弯曲。

(2)掌握合理的钻进工艺　根据钻进岩层的正常与复杂等情况不同,选用相应的钻进技术参数。例如当采用钢粒钻进时,应采取以下措施:①选用直径小于 3.5 mm 的钢粒,减少投砂量,采用结合(或连续)投砂法。钻头水口以双弧形或双水口为宜;②尽量采用孔底反循环钻进。当换层钻进时,应采取相应措施:如,由软换硬时,轴心压力要适当减小,转速要相应降低;由硬转软时,压力要减小到正常压力的 1/3,要控制回次进尺长度,且粗径钻具要适当加长;在钻进松散、破碎等地层时,粗径钻具要加长,适当减小冲洗液量,以保护孔壁,减小间隙。

第四节　钻孔弯曲的测量

在钻孔施工中,通过对钻孔弯曲的测量(即测斜),取得顶角和方位角数据,可以达到以下 3 个目的:

(1)及时了解施工钻孔在地下孔间的延伸趋势,以便及早防斜和纠斜,使钻孔弯曲度控制在允许范围内。

(2)掌握已施工的钻孔轴线在地下空间的坐标位置,摸清钻孔弯曲规律,设计施工定向钻孔。

(3)控制钻孔穿矿部位的坐标位置,以便计算矿产储量和进行矿山开采设计。

在钻进过程中,必须按规定的测点间距及时测量钻孔弯曲度,不应只在终孔后对各测点一起连续测量。一般要求直孔每 50 m 测一点,斜孔每 25 m 测一点。但在易于孔斜

的复杂地层中钻进，或钻进定向孔和特殊工程孔时，则应根据设计要求，适当加密其测点。此外，在下套管前后，换径钻进一段距离和穿过空洞之后应进行测斜。

孔深、顶角和方位角 3 个测斜参数要齐全、对应；测斜记录要正确、完全；必要时应选用精确的作图方法，按测点画图以指导防斜、纠斜等工作。

为了得到完全切合实际的钻孔资料，必须随时掌握与控制钻孔空间位置的变化，以便预防和纠正钻孔的偏斜。应按要求及时进行钻孔顶角和方位角的测量工作。

测量钻孔顶角和方位角的仪器称为测斜仪。随着我国科学技术的发展，生产和使用的测斜仪种类较多，且各有特点。按测量钻孔顶角和方位角的原理分类，主要有以下几类：

一、JXY 一 2 型测斜仪

JXY 一 2 型测斜仪适用于非磁性矿区直径大于 80 mm 的钻孔内测量顶角和方位角。仪器结构简单，使用方便，利用机械定时钟锁卡后，提升到地面读数。它是目前应用最广的测斜仪器。

1. 仪器的主要技术性能

(1) 顶角 0 测量范围：0° ~60°。

顶角 0 测量误差：在 0° ~30°之间不大于 ±1°；

在 30° ~60°之间不大于 ±2°。

(2) 方位角口测量范围：0° ~360°；

方位角测量误差：不大于 ±4°(在 ≥4°时)。

(3) 最大承受液压：7×10^6 Pa。

(4) 定时钟最大工作时间：11 min，最小为 10 min。

(5) 仪器尺寸：外径 75 mm，全长 1990 mm；

总重：33 kg。

2. 仪器作用原理

该仪器利用重锤原理测量倾角，利用磁针指北原理测量方位角，在被测点依靠定时钟锁卡装置达到测量目的。

3. 仪器结构

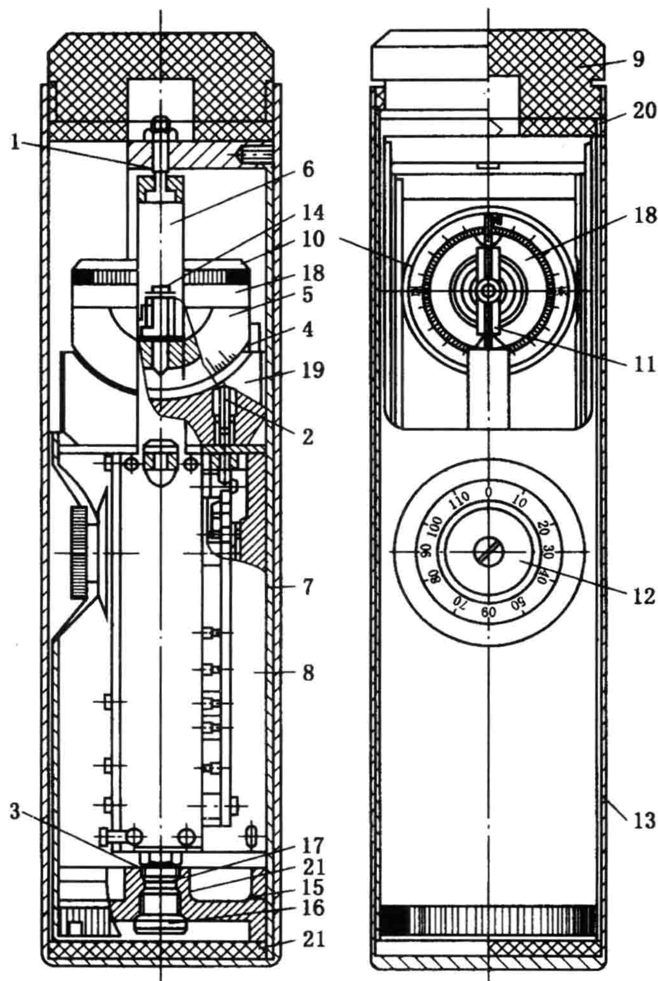
仪器的主体是由测量系组成(如图 9-4 所示)。

全部测量机构都安装在框架 6 上，在框架上承板开有一孔，作轴套用。在框架的下部装有下轴 3，当框架装入里套筒(仪器壳)7 时，安装在里套筒上面的上轴 1 正好插入上承板的孔内，作为框板的上支撑点，而下轴插在轴承座 l5 的轴承 17(型号为 IY23)内，并依靠装在闷头螺钉 16 上的 2 mm 钢珠 21 支撑，使框架能在里套筒内灵活转动。

在框架的一边装有铅制重锤 8，当测量系倾斜时，由于重锤的偏心作用，使框架平面始终与倾斜面垂直。在框架上部装有一罗盘，罗盘由罗盘盒盖 10 和罗盘盒底 18 组成，在罗盘盒中间磁针轴上装有一磁针 11，磁针涂红白两色，红色指北，白色指南，以指北红色针作为读数依据，可以在罗盘刻度盘上读出被测点的方位角。罗盘度数分有 180 格，每

格2度。整个罗盘盒由水平轴承14支撑，使罗盘在仪器倾斜时，在重锤的作用下始终保持在水平位置。

在罗盘下面连接着倾斜角刻度盘5，它既可起重锤作用，使罗盘保持水平，又可根据刻度器上所列的刻度，通过定位座19上的标线，读出被测点的顶角。



1－上轴；2－定时指针；3－下轴；4－定位齿条；5－倾斜角刻度盘；6－框架；
7－里套筒；8－铅制重锤；9－胶木盖；10－罗盘盒盖；11－磁针；12－定时钟；
13－保护筒；14－水平轴承；15－轴承座；16－闷头螺钉；17－轴承；18－罗盘盒底；
19－定位座；20－防震橡皮垫；21－钢珠

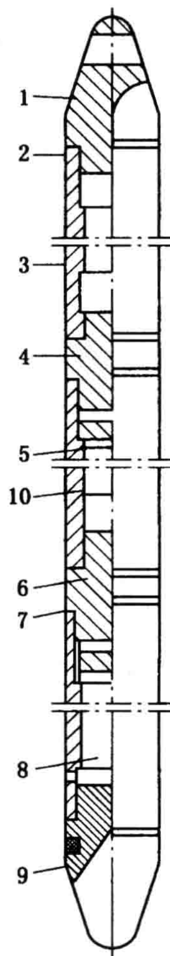
图9-4　JXY－2型测斜仪

框架的下部装有机械定时钟12。在定时钟的背面装有凸轮，凸轮受定时钟控制，当钟走到一定位置，凸轮就推动杠杆，杠杆抬高定时指针2和定位齿条4，使磁针和倾斜角刻度器都处于锁紧状态。仪器即可读数。此时定时钟因仪器锁紧而停止走动，定时钟正面的旋钮盘12的刻度指示正好回到零。定时钟旋钮盘刻度指示一格为5 min，最大指示

为 110 min,至少开动 10 min,定时钟才能启动。

整个测量系统放在保护筒 13 内,上下放有防震橡皮垫 20,用胶木盖 9 固定。

仪器外套铜管是保护测量仪器主体在密封状况下工作(如图 9-5 所示),外套铜管由上管 3 和下管 10 组成,中间用上连接头 4 连接,装有测量系的两套保护筒可放入下管中,保护筒的上下装有防震橡皮,用圆螺帽 5 压紧,使测量系在铜管内不会跳动。铜管的密封可采用牛皮密封圈或 0 形橡皮圈。上管是作为伸长管用,使仪器的倾斜与钻孔的倾斜更加接近,提高测量正确性。在上管的顶端开有一横孔,供提引仪器下孔之用。



1 - 上体;2 - 垫片;3 - 上管;4 - 上连接头;5 - 圆螺帽;
6 - 下连接头; 7 - 皮碗;8 - 下管(2); 9 - 下体;10 - 下管(1)

图 9-5　外套铜管

4. 仪器的使用和维护保养

(1)仪器校验　为保护测孔的正确性,测孔前,必须对仪器进行校验。校验可在 JJG—1 型校验台上进行:①将框架放置在里套筒内,注意上轴要正好插入框架上承板孔内,然后慢慢旋进轴承座,装好后,拨动框架,应能非常灵活地转动;②开启定时钟 10 ~

15 min,磁针和罗盘下弧形重块应能灵活转动,观察其到达锁卡时,旋钮上时间刻度是否恢复指示到"0"线,锁卡的时间是否与刻度指示相符合,以便掌握其超前和滞后锁卡的时间。锁紧后轻拍测斜仪器主体,磁针和弧形重块应没有摆动位移等情况;③在开放定时钟后,将测斜仪器主体放置在校验台上,将校验台顶角放在40°~60°的范围内,测量若干点,证明仪器顶角和方位角读数与校验台读数间的误差符合仪器精度要求。否则,应修理后方能使用。

(2)钻孔测量　①到达钻孔现场后,首先安装好绞车,把吊悬仪器的钢丝绳与仪器提引孔连接牢;②估计定时钟开放时间。根据仪器安装所需时间,仪器下孔到达被测点的时间和仪器在被测点的稳定时间之总和,作为仪器的定时时间。然后将定时旋钮转到定时时间的刻度上,将启动仪器的时间和锁卡定时时间分别记录下来;③定时钟开启后,按照装置顺序将仪器装入外套铜管内,随即将其下入孔内欲测点。在下降过程中不要太快,避免冲击。待锁卡时间过后,提升仪器出孔,并取出测量系,分别记下两个测量系测出的顶角和方位角,取其平均值,作为该测点的测量结果。如果有一个测量系发生故障,则以另一个测量系的数据为测量结果。如果两个测量系都有故障,或者两个测量系的数据有明显差别又找不出原因时,均应重新测量;④仪器读数经过验证与记录无误时,才能再一次开放定时装置使仪器处于自由状态,以进行下次的测量。

(3)仪器的维护保养　①仪器测孔完毕后,应将外套管各节揩刷干净,测量仪器主体安放在木箱内,防止尘砂侵入;②若仪器下孔后发生漏水现象,仪器主体已浸水,应由专业人员拆开,清洗后才能再使用;③仪器壳上滚珠轴承应经常涂以防锈脂,定时钟、顶尖轴承等活动部分亦应经常清洗,并加钟表油保持润滑;④仪器不用或运输移动时,应使仪器处于锁卡状态,否则各轴尖部分会因受振动而造成磨损;⑤仪器应贮存在没有强力磁场和较干燥的地方;⑥仪器附有必要的易损件备品,发现易损件损坏,应及时进行更换。

二、JJX—3 型测斜仪

JJX—3 型测斜仪是根据磁针、悬锤和非电量电测原理进行测量工作的,即把非电量(顶角、方位角)的变化转换成电量(电位)的变化,再把电量转换成非电量(地面刻度盘角度),在地表直接读数。

这种仪器下孔一次,可进行多点测量,效率高,适于全孔测量,故是目前最常用的多点测量仪器。

1.仪器的主要技术性能

(1)顶角　测量范围:0°~50°;

顶角　测量误差:不大于±30′。

(2)方位角 a 测量范围:4°~356°;

方位角 a 测量误差:在顶角2°~50°范围内为±4°

(3)下孔仪器直径:不大于65 mm。

(4)下孔仪器允许承受最大液压:5×10^7 Pa。

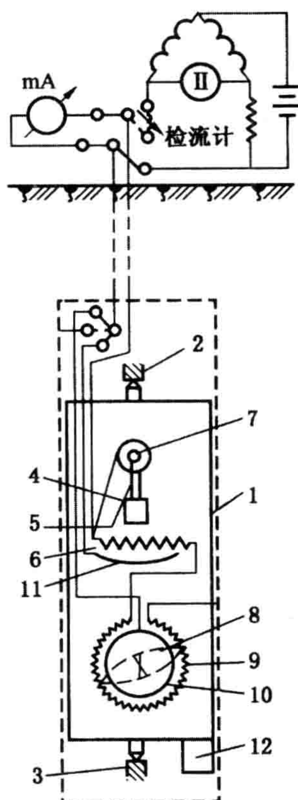
(5)下孔仪器允许最高工作温度:373 K;

地面操作面板的工作温度:293 ~ 323 K。

(6)电源:直流 90 V。

2. 仪器工作原理(如图 9-6 所示)

它的测量系统全部安装在一个轻合金套管 1 内,且由上、下顶尖轴承 2、3 支撑,能灵活转动,其重心相对轴线呈偏心状态。方位测量系统由磁针 8、环状电阻盘 9 和接触片组成。磁针与接触片固定的线相接,在自由状态时,能在电阻盘中间的顶针上灵活转动。在锁紧时,磁针与接触片同时下移,接触片使环状电阻部分短路。方位角大小不同时,方位电阻短路的多少不同。故测定方位电阻的变化,就可确定钻孔的方位角。顶角测量系统由弧形绕线电阻 6、接触片 5 和重锤 4 组成。在自由状态时,接触片和重锤围绕其水平轴摆动。锁紧时,接触片接触弧形绕线电阻,使其部分短路,故测量顶角电阻的变化,就可确定钻孔顶角。



1 - 轻合金套管;2、3 - 上、下顶尖轴承; 4 - 顶角重锤;5 - 接触片;6 - 顶角电阻;
7 - 重锤轴;8 - 磁针带接触片,9 - 方位电阻;10、11 - 短路线圈;12 - 重锤

图 9-6 JJX-3 型测斜仪工作原理

3. 测量操作及注意事项

仪器下孔测量前,应检查仪器的工作状态是否正常,精度是否符合要求等。检验可在 JJG—1 型校验台上进行:

(1)先将 JJG—1 型校验台校验水平　用罗盘定好向,使校验台的方位零刻度对准磁北方向,然后将下孔仪器夹在校验台夹具中。此时,应将校验台调整到水平位置。

(2)接好电源、测量面板和下孔仪器的导线　如下孔仪器引出的 3 根线辨别不出极性时接仪器外壳,另一端接一根线,若电阻为零,则为外壳公用线;若电阻为 300 ,则为吸铁线;若电阻为 800 ~ 3500 ,则为测量线。

(3)检查电源按下电源检查按钮　当毫安表的指针指在表盘的二红线间,则表明电源正常。否则,应增加电源电压使指针在两红线间。

(4)检查仪器工作状态　按下状态转换按钮,仪器的 4 个工作状态的变化与测量面板中的状态指示表(毫安表)所指示的情况应见如表 9-1 所示。

(5)检验红线按状态转换按钮　使孔下仪器处于自由状态后,再按下方位按钮,转动度盘旋钮使刻度盘上的红线与有机玻璃板上的红线重合,此时检流计的指针应指零。否则,应调节电缆补偿电阻使指针指零。

表 9-1　仪器工作状态

顺序	方位状态	顶角状态	状态指示
1	锁紧	自由	电流小,表针在中线左侧
2	自由	自由	电流最小,表针在中线最左侧
3	自由	自由	电流大,表针在中线右侧
4	自由	自由	电流最小,表针在中线最左侧

(6)校验顶角精度　将校验台顶角板在 2° ~ 50°范围内的任意角度,测量仪器顶角读数。此时,两者读数应一致,其误差不大于 ± 30′。

(7)校验方位角精度　在校验某一顶角的同时,使仪器成任意一方位角,测量仪器的方位角。此时,面板刻度盘上的方位角读数应与校验台上方位角读数一致,其误差不能大于 ± 4°。在测量时,仪器从自由状态到锁紧状态应有 12 s 以上的稳定时间;否则由于测量系统在不稳定的状态下工作,会带来一定的测量误差。

(8)顶角、方位角精度重复校验　经过上述校验后,应将孔下仪器在校验台夹具中转换成 90°、180°、270°三个面,分别按上述操作步骤重复校验顶角和方位角,所测得的结果应与原测结果一致,其误差应在允许范围内。

校验完毕时,将孔下仪器转向 50°顶角,180°的方位角处于方位锁紧状态。

如果在没有校验台的情况下,也可用经纬仪或地质罗盘进行粗略的方位检验,用量角器进行粗略的顶角检验。观察仪器的工作状态是否正常。

钻孔测量的工作包括测量前的准备工作和测量过程:

(1)测量前的准备工作　钻孔测量前,应对三心电缆和下孔仪器连接后绝缘密封、拉力等情况进行细致检查。三心电缆绝缘应大于 20 MΩ,拉力应不小于 600 kgf(1 kgf = 9.8 N)。下孔仪器的外套管与上、下接头的丝扣要拧紧。三心电缆与下孔仪器的导电柱引出线要包扎好,以防漏水。同时还要对电缆绞车、孔口滑轮的机械运转情况进行检查,并做好电缆深度记号。

做好上述准备工作后,按照前述的仪器校验方法,检查电源、校验红线、仪器工作状态,如果一切正常,即可将仪器下入孔内测量。

(2)测量程序　测量时,应将仪器慢速下入孔内最下一个测点,测完此点后,再向上提升,逐点测量。测点间距根据各个钻孔要求而定,一般为25 m。

仪器停放在某一测点后,操作测量面板,接通电源,校验红线,再按状态转换按钮,先测该点顶角读数。如顶角小于2°时,则不测量方位角,可提升仪器测上一测点。当顶角大于2°时,则应按状态转换按钮,测量其方位角。为验证测量数据的可靠性,每一测点应重复测量两次,其数据应基本一致,不应超过规定的误差范围,然后取其平均值。钻孔测量完毕后,应将仪器处于方位锁紧状态,避免在运输途中受到损坏。

第五节　钻孔弯曲的纠正

在施工过程中,为了使钻孔能按设计方向延深,虽然执行了"以防为主"的方针,但由于产生钻孔弯曲的因素错综复杂,某些钻孔或孔段仍然会偏离原设计方向。当发现钻孔偏斜,就应及时调整测量间距,增加测点,搞清钻孔弯曲部位及变化值,以便采取必要的措施进行纠正,使钻孔弯曲保持在允许的范围内。下面介绍几种纠斜方法。

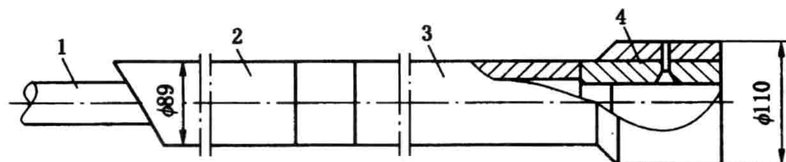
1. 自然纠斜法

这种方法的实质是用合理的钻具结构和组合及相应的钻进工艺来纠正钻孔顶角。在纠正顶角的同时可连续钻进,但纠正进度较慢。因此,仅适合于纠正孔斜度不大的钻孔。

(1)自然增斜法　当发现钻孔下垂或上漂程度不够,需要促使钻孔上漂时,采取下列措施:

缩短岩心管长度,使它只有正常长度的2/3,适当增大投砂量、压力和水量,选用大直径钢粒,造成钻孔严重超径。

采用塔形钻头(如图9-7所示),该钻具系由短小取粉管、岩心管、大直径钻头组成。它能扩大孔壁,在加压钻进下加剧钻孔上漂。但在钻进中由于粗径钻具两端摩擦力矩的大小不同,使上下受力不平衡,容易使方位偏斜。故在松软、破碎地层不宜使用。



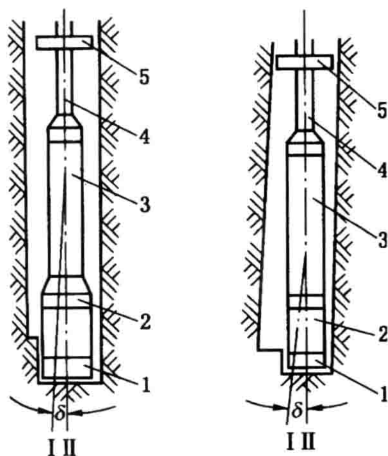
1－钻孔杆;2－取粉管;3－岩心管;4－双层钻头

图9-7　塔形钻头

(2)自然减斜法　当发现钻孔上漂严重,需要使其下垂时,采用下列结构的钻具:

同径减斜、异径减斜钻具(如图9-8所示)。此种结构钻具,由于上部支撑接头的衬

垫作用和下部钻具自重的原因(钻进时中和点应落在支撑接头上),使钻具与原孔中心形成一夹角,在钻头上形成一矫正力,迫使钻孔下垂,其顶角自然减小。异径减斜的效果较好。



1－钻头;2－岩心管;3－灌铅管;4－钻杆;

5－支撑接头;Ⅰ－原孔中心线;Ⅱ－钻具中心线

图 9-8　自然减斜钻具

2. 回填老孔纠斜法

一般是在老孔中灌注水泥,待凝固后,选取较直的孔段,用长、粗、重的粗径钻具,并应采用无内刃的合金钻头钻进 0.5 m 左右,使新孔形成,有了半边岩心,起导向作用,让钻头靠边,不致回老孔。钻进时,应轻压、慢转,待钻进 0.5 m 左右,要反复扫孔几次,使孔径均匀一致,无弯曲状态,并在钻进 5 m,10 m,15 m 后,要及时测斜。此法用在中硬岩石钻进中,效果较好。

3. 扩孔纠斜

用大一级钻具加长岩心管,从较直的孔段向下扩孔,将偏斜的孔段通过扩壁纠直。此法简单,一般用于浅孔或中硬岩层,但有时效果不甚理想。

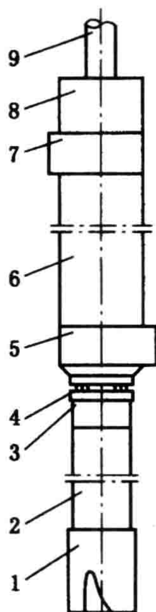
4. 纠斜器纠斜

纠斜器是指不带导斜器的特殊纠斜工具,适用于顶角大于 5°的钻孔纠斜,其操作工序简易,合金钢粒钻进均可应用。下面介绍几种常见的纠斜器。

(1)简易偏重偏心纠斜器　这种纠斜器构造简单(如图 9-9 所示)。在偏重管 6 的上、下两端分别连接两个凸轮状的偏心接头 7、5,钻杆通过偏重管和推力轴承 4 连接岩心管。由于偏重和推力轴承作用,当钻杆回转时,偏重管可保持静止不动,调整上、下偏心接头的偏心方向,即可改变倾斜方向,强制钻头按所需的方向钻进,起到连续定向的作用,从而达到纠斜的目的。

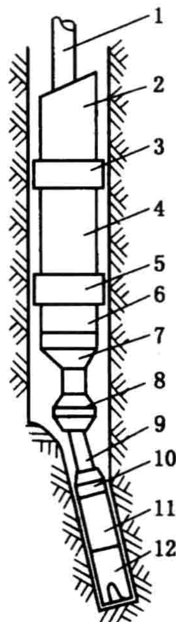
此纠斜器主要用于纠正方位角的偏斜,一般钻进 10 ~ 30 m 即可纠回方位角 10° ~ 20°。在 70° ~ 80°斜孔内纠正方位角效果较好,但也可用于纠正顶角。

(2)万向接头组合钻具　这种钻具的结构如图 9-10 所示。纠斜原理是:当万向接头连接在钻具中,能改变钻具某一点的刚性,产生一定的夹角,而使纠斜钻具与原孔中心线形成一偏角,这使钻具沿所需要的方向前进,从而达到纠斜的目的。岩层软,钻具在孔内的偏斜度大,纠斜值就高;反之在硬岩层中钻进时,纠斜值相对较低。



1 – 钻头;2 – 岩心管;3 – 岩心管接头;
4 – 推力滚珠轴承;5 – 下偏心;6 – 偏重管;
7 – 上偏心;8 – 取粉管;9 – 钻杆

图 9-9　简易偏重偏心纠斜器



1 – 钻杆;2 – 取粉关;3 – 肋骨接头;
4 – 短岩心管;5 – 异径接头;6 – 短岩心管;
7 – 异径接头;8 – 万向节;9 – 短钻杆;
10 – 异径接头;11 – 岩心管;12 – 锥形钻头

图 9-10　万向接头组合钻具

5. 导斜器纠斜

此法是向钻孔内定向下入导斜器,利用导斜器导斜钻进,从而强制纠正钻孔的顶角和方位角。

复习思考题

1. 什么是孔深、顶角、方位角?
2. 什么是顶角弯强、方位角弯强?
3. 什么是钻孔弯曲度?
4. 促使粗径钻具偏斜的因素有哪些?
5. 简述各向异性的岩层钻孔弯曲规律。

第十章　简易水文观测与孔深校正及孔内事故预防

第一节　封孔、简易水文观测与孔深校正

一、封孔

1. 封孔的目的和要求

钻孔终孔后，对按照地质要求封闭的孔段，进行灌注水泥砂浆等封闭材料的工作，称为封孔。

(1)封孔的目的　隔离主要矿层顶底板的含水层，防止给地下水的开发利用、矿井开采、煤田保护、工程建筑及边坡稳定、水利工程防渗等带来不利影响。

(2)封孔的要求　按封孔设计要求和钻探操作规程的规定进行封闭，同时经取样检查合格后埋标(明标或暗标)，提出封孔报告。封孔实施细则的主要内容如下：①钻孔竣工后，孔口必须进行封闭，并埋标(明标或暗标)；②须用水泥砂浆封闭的层位和孔段有：冲积层和基岩界面、可采煤层、主要含水层、断层破碎带等；③遇到严重涌水、漏水层位，必须先行有效地止水(如用套管隔绝)。然后，才能用水泥砂浆进行封闭；④封孔段距，冲积层与基岩界面下封(基岩内)20 m，上封(冲积层内)10 m；可采煤层，主要含水层和断层破碎带下封20 m，上封30～50 m；⑤各封闭段之间相距很近，或煤层层数多，可全孔封闭；⑥分段进行封闭时，每次都必须取样检查。

2. 封孔材料及封孔方法

(1)封孔材料

①黏土封孔　黏土因其颗粒分子的吸引作用和表面张力所产生的黏结力，而使其具有一定的抗剪强度，加之在经过压实以后，又具有不透水性。所以，可在一些浅孔或地下水承压水头不大、流量不高的钻孔中作为封孔材料。黏土封孔时，应将黏土浸湿后，制成球状或柱状。球形可直接投入孔内，柱状可用岩心管投送。每投一定数量的黏土后，用钻具捣实一次。

②水泥砂浆封孔　水泥封孔效果好，是封孔的主要材料。为增加水泥强度，加入一定比例的砂子称为砂浆。由于水泥在水中固化，且与钻孔孔壁具有一定的胶结力，同时又具有较好的隔水性能。所以，在所有主矿层、主要含水层、第四纪等水文地质条件比较

复杂的钻孔中进行分层封孔时,均可选用水泥砂浆作为封孔材料。常用的封孔水泥有:硅酸盐水泥和硫酸铝盐水泥两种。

(2)封孔工艺

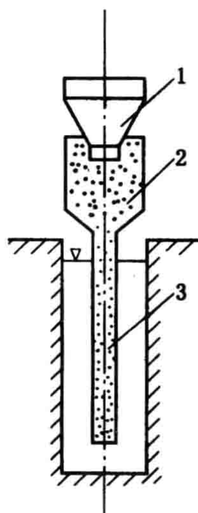
①洗孔　为了使注送下去的水泥砂浆与孔很好地胶结,达到封孔的目的,需用水冲洗钻孔,排除孔内残渣,清除孔壁上的泥皮。洗孔时,一般用喷射式洗孔器进行。将洗孔器下入需要封闭的孔段,用水泵送水。在泵压作用下,水从洗孔器水眼喷出,由下往上冲刷孔壁泥皮,并替换出孔内泥浆。

②固定隔离物　为了使封孔位置准确,减少水泥砂浆的用量,要投送隔离物,堵截钻孔以承托水泥砂浆,这个方法也称架桥。把隔离物放置在预计深度,投入卡料卡牢固,在其上部投入黏土或细砂等物品。隔离物的种类很多,常用的带钢丝的倒刺木塞、带环形槽沟的锥形木塞、竹筋草塞等。

使用木塞时,木塞长度为 1 ~ 1.5 m,其直径比钻孔直径小 1 ~ 2 mm。具体操作方法是:将木塞连接在钻杆上,下到预定的深度。然后,由孔口投入直径为 5 ~ 10 mm 的碎石子,拉紧钻具,开车正转使钻杆与木塞在反扣接头脱离。

(3)注浆方法　注浆方法有导管灌注法、泵入法、水压活塞法等。

①导管灌注法　在浅孔封闭的孔段较大时,可采用导管灌注法。此法具有灌注效率高,操作简便等优点(如图 10-1 所示)。上部储浆筒用 146 套管(或更大些)做成,长度 300 ~ 500 mm,下端用垂 50 钻杆连接即可。



1 - 漏斗;2 - 储浆筒;3 - 导管

图 10-1　导管灌注法

②泵入法　用泥浆泵将搅拌好的砂浆,通过钻具泵入预计封闭段。泵入法效率高,封闭的孔段长,体积大,操作方便。由于泵压作用,水泥浆能进入岩石缝隙凝结密实,封孔效果好。泵入前应对水泵、高压管、钻具详细检查,钻杆锁接头丝扣处要缠线,保证工作良好,管道畅通。注浆钻具距离孔底为 3 ~ 5 m。如采用悬封,可将钻具下至待封闭段。

③水压活塞法　使用时,应先将阀门封闭严密,并用圆销销住,下入孔内,用夹板夹于孔口,装入砂浆,再装上活塞、滑动接头及密封圈。注浆管用外接箍连接,下钻速度要慢,防止因冲撞而剪断圆柱销,打开阀门,砂浆漏掉。水泵压力表应准确,送水后泵压逐渐升高,又突然下降,再有回升,圆销剪断,说明阀门已打开。

(4)封闭孔口和设置孔口标志　封闭孔口和设置孔口标志的目的,一是防止地表水流入孔内;二是作为测量孔口坐标的标志。因此,封孔需埋设孔口永久性标志,当埋设明标有困难时,可设置暗标。

3. 封孔质量检查

为了解和评价封孔质量,确保将来矿山开采安全,必须进行封孔质量的检查。检查方法可分为取样检查和启封透孔检查。

(1)取样检查　因钻孔孔径不规则,很难准确地计算所需封孔材料,因而不能保证达到设计要求。所以,某孔段封孔后,必须进行取样检查。检查的方法是:将一带球阀座的取样筒连接钻杆,下移到砂浆面的设计位置,如果此处有砂浆,就能顶开球阀进入筒内,提升钻具时球阀关闭砂浆样不会漏出,上来后即可查出有无砂浆样。如果没有,再将取样筒往下几米去采样。当检查出砂浆样达不到设计要求位置时,就按实际孔内情况进行补封,直至封到设计位置。

(2)启封透孔检查　启封透孔检查就是在矿区内选个别钻孔,重新安装设备进行启封透孔钻进,在原设计封孔段距采取岩心,了解水泥砂浆实际封闭深度及砂浆与孔壁岩石的固结情况,以便对封孔质量进行全面分析评价。

所选择的启封钻孔,一般应在终孔封闭 3 个月后进行。检查了解的内容:①封孔方法是否得当;②封闭的砂浆和孔壁岩石固结是否牢固;③所用水泥质量。这种工程的检查方法,是在根据设计、建井等有关部门提出专项要求而进行的检查工程,多在水文地质条件复杂的矿区进行。一般的矿区,不进行这种启封检查工程。

二、简易水文地质观测与孔深校正

1. 简易水文地质观测

简易水文地质观测是取得水文地质资料的重要手段之一。根据勘探区水文地质工作的需要,利用勘探钻孔进行简易水文地质观测,是研究水文地质问题简单、经济、有效的方法。其目的是将钻孔简易水文地质资料进行综合整理、分析,以了解勘探区含水层的厚度、层数、分布规律和含水层的性质等,以便确定矿区的水文地质工作量,尤其是为布置水文地质钻孔提供可靠的依据。

简易水文地质观测是在钻进过程中进行的,根据规程要求其观测项目有以下几方面:

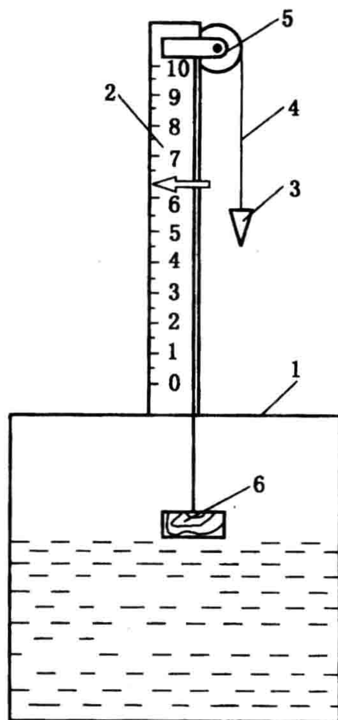
(1)钻孔水位观测　钻孔水位是指孔内冲洗液表面(水面)至孔口固定位置的距离。观测水位的目的是了解含水层的深度,地下水的压力大小及推定地下水的动态等。一般每班应观测 1 ~ 2 次,停泵在 15 ~ 20 min 以上时,可根据地质要求在提钻后、下钻前各测一次水位。如果停钻和终孔时间较长,应每小时测量一次水位,直至水位最终稳定,最后

几次水位升降差不大于 2 cm 为止。为了保证水位的准确性，测量水位时必须在孔口统一确定一个固定基准点。

测量水位方法很多，除用电测水位仪以外，目前现场最常用的而又简单的方法是用软铅制作的测钟。测钟拴在测水绳上用小绞车下入孔内，当测钟接触水面时，会发出声音，即是地下水的埋藏深度，则由孔口基点标高计算地下水位标高。

(2)冲洗液消耗量观测　通过对冲洗液消耗量的观测，可以对岩层透水性或裂隙、岩溶发育程度等作出初步评价。一般情况下，每次钻进至少应测量消耗量一次，如发现消耗量有较大的变化时，则必须增加测量次数。在观测冲洗液消耗量的过程中，为保证测定的正确性，必须杜绝循环系统(水源箱、循环槽、沉淀箱)的漏失现象。同时必须防止雨水或其他地面水流入循环系统。

每次钻进开始，立即测量水源箱水量，结束时再测量一次，以作为计算单位时间的消耗用量。钻进过程中向水源箱内加入的水量也必须测量。并将全面测量的结果填写在记录表格中。简便的测量方法是，可在水源箱内一侧竖立标尺，将测量的高度差数乘以水箱平均面积，即为消耗量的容积(以 m^3 或 L 为单位)；另一个简单可靠的测量方法(如图 10-2 所示)。浮板、重锤以绳子联结，通过固定的两个小滑轮、重锤端竖立的标尺，可直接在重锤端部读出水箱液面高低的读数。



1 – 水源箱；2 – 标尺 ；3 – 重锤；4 – 绳子；5 – 小滑轮；6 – 浮板

图 10-2　测量冲洗液消耗量的浮重法

(3)钻孔涌水、漏水的观测　钻孔涌水,是由于钻孔揭露承压含水层后,地下水在承压水头作用下,从孔口喷出的现象。当钻孔发生涌水后,应立即提钻,记录涌水孔深,然后自孔口向上接长套管,观测涌水量和涌水高度,并把观测结果填写在记录表内。水头高度的填写方法是:当涌水水头高出地表时,在套管内水柱高度的数字前面写上"+",如高出地面 9 m,即写成 +9 m。当钻孔突然漏水时,应记录起止深度和漏失量大小。

(4)水温测量地下水温过高(过低)以及地质工作需要时,都应测量水温。若地下水流出孔口,则用普通温度计测量;若水位较深时,可使用井温仪进行测量。

(5)其他观测　钻孔在钻进中,遇有涌水的大裂隙、破碎带,以及严重坍塌层段,要及时记录其孔深。遇老窑和溶洞,钻具突然下降,要准确记录其起止深度。

2. 孔深校正

钻孔深度直接关系到煤层(标志层)的埋藏深度、厚度和位置等的准确测定。对钻孔深度掌握不准,不仅使岩、煤层埋藏深度发生错误,而且常使构造形态受到歪曲,从而直接影响地质资料的精度。因此,在钻进过程中,应根据规定丈量钻具全长,校正孔深。对钻孔深度的误差规定量最大不得超过 0.15%,当超过时,就应当做到合理平差。

钻孔深度误差,往往是由于日常在丈量上余尺不准,在加减钻杆或更换粗径钻具,以及在钻粒钻进时丈量钻头消耗量不准等多方面因素造成的。为把钻具误差控制在最小限度内,在丈量机上余尺,加减钻杆,更换粗径钻具及测量钻粒钻进的钻头消耗量时,要正确计算和准确记录。

为了获得正确的钻孔地质资料,在下列情况下必须对孔深进行校正,每钻进 50 ~ 100 m或见主要煤层前;见到重要标志层或划分地层时代的重要层位;下套管前及终孔层位。

第二节　孔内事故的预防与处理

在钻探施工过程中发生的孔内事故多种多样,对于钻探作业者来说,应该做好预防、分析与处理工作。

一、孔内事故的种类及其处理原则

1. 种类

孔内事故按其成因可以分为人为事故和自然事故。

(1)人为事故　指事故发生的主要原因是操作人员或有关人员没有严格执行钻探操作规程. 没有根据生产的具体情况采取相应的技术措施而造成的事故。例如,断脱钻具、跑钻、烧钻等事故。

(2)自然事故　指由于复杂的地质条件等客观因素所引起的事故。例如,探头石卡钻,掉块挤夹钻具,孔壁坍塌埋钻等事故。

孔内事故大体可归纳为6类:①卡夹钻具事故;②断脱钻具事故;③跑钻事故;④埋钻事故;⑤烧钻事故;⑥其他事故,如金属物件、电测仪器和电缆掉入孔内等事故。

2. 处理原则

(1)需要弄清楚事故发生的前后情况。对发生事故的孔深和机上余尺,事故钻具的数量等要记录清楚;弄清全孔井壁岩层情况,事故钻具上部的形状等;对事故发生前出现的预兆,孔内事故钻具的数量规格,事故发生的经过,处理情况等要交接清楚。

(2)认真分析研究事故发生的情况和孔内事故的现状,提出处理方案,制定安全措施。

(3)在恶性事故处理前,对所有使用机械设备(钻塔、动力机、钻机、泥浆泵及其传动皮带)、管材工具(包括打捞工具)以及提升系统等,都必须认真检查。

(4)处理方案确定后,要抓紧时间,及时排除,以免事故复杂化。

(5)在处理孔内事故的一切操作中,在快的同时还要做到稳,防止慌乱,出现疏漏。

(6)保持泥浆的良好性能,才能保持孔壁安全,不致造成泥浆沉淀。

二、处理孔内事故的基本方法

处理孔内事故的基本方法有以下几种:

(1)捞　用各种类型的矢锥或打捞勾捞取折断、脱落的事故钻具。一般情况下,用矢锥或打捞勾捞住后,用升降机提出孔口(如图10-3所示)。

遇有锁接头折断,钻杆断头平、齐、壁厚均匀,钻杆脱扣,带大卡头跑钻等断头,一般用公锥打捞。

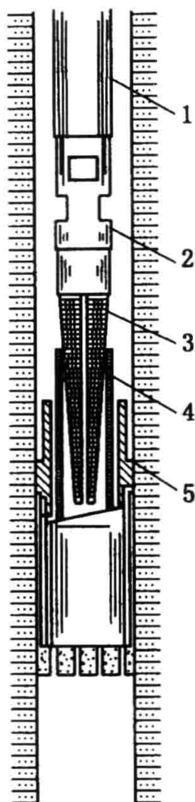
遇有钻杆断头不齐、断头太薄、断头内眼被杂物堵塞,断头壁裂较长等断头,一般用母锥打捞。

(2)提　在设备能力允许的情况下,通过升降机和复式滑车采取加大提升负荷的方法,对事故钻具进行强力提拔,用以解除轻微卡、夹钻和烧钻事故。用升降机强行提拔时,用力不应过猛,操纵升降机要掌握好所用的提升力,在不破损提引设备的前提下,进行有效提拔。同时,通过提拔力的大小,可了解孔内事故对钻具的阻力情况。

(3)扫　事故钻具在某孔段遇阻,钻具不能提升,但能下降和回转。在此情况下,应尽可能在活动段距内开车向上回转,并上下串动,把挤压物扫碎或压入孔壁。

(4)冲　对埋钻、局部糊钻、悬桥卡钻、泥皮吸附等事故,应尽一切努力实施开泵强行循环,不宜轻易关泵,并强调使用优质泥浆,经强力冲洗后,再配合提拉,一般可将事故解除。

(5)打　用吊锤冲打事故钻具,通过振动力使事故钻具周围的挤卡物松动。此法对浅孔和中深孔的钻粒卡钻、掉块卡钻等很有效。吊锤向上打,也可以向下打。钻具在提升过程被悬空挤夹时,一般是向下打(如图10-4所示)。



1 – 钻杆;2 – 接头;3 – 丝锥;4 – 内管;5 – 外管

图 10-3　用丝锥捞取钻具

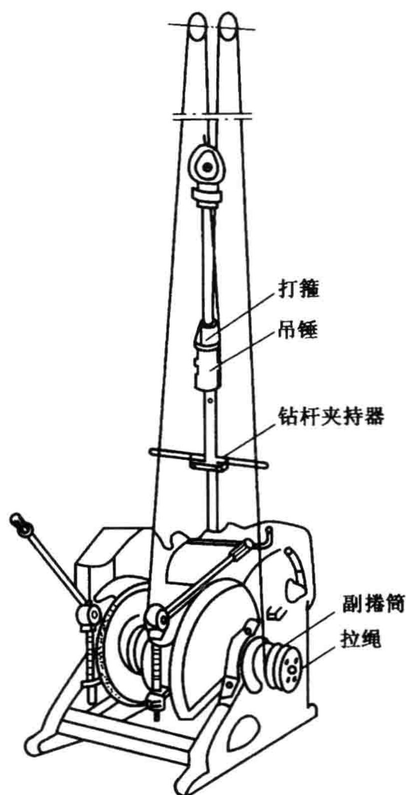


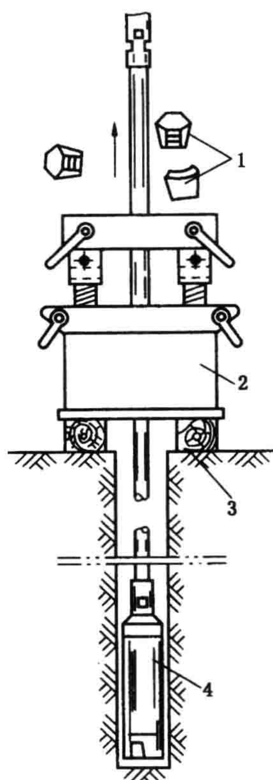
图 10-4　机械打吊锤示意图

(6)顶　用千斤顶起拔事故钻具。对一些阻力较大的卡、埋、糊、烧钻等事故,用以上处理方法无效时,可采用千斤顶起拔。因为它的起拔能力比升降机的能力大得多。千斤顶不宜过快、过猛,以防事故钻具突然断裂(如图 10-5 所示)。

(7)串　当事故钻具有一定活动范围时,不仅要进行上提,同时注意依靠钻具本身重力,上提一定高度后,再向下回送,这样上下反复串动,可有效地解除轻微的卡埋钻事故。

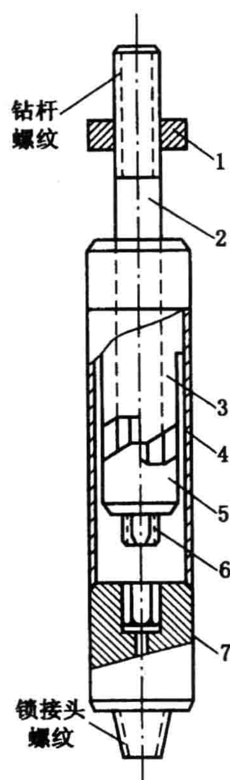
(8)震　将孔内震击器接在事故粗径钻具上端,并用升降机拉紧,经开车回转,使上下震击锤牙嵌的螺旋面相对位移,产生连续的震动冲击力,通过钻杆传到事故部位,可使被挤夹的钻具震松,从而达到钻具起拔的目的(如图 10-6 所示)。

(9)反　用反丝钻杆连接反丝矢锥把孔内事故钻杆分批从孔内反出,留下粗径钻具再用其他方法来处理。反管时须用专用机械反管装置,目前常用的机械反管工具有两种:钢丝绳反管器和棘轮反管器。棘轮反管器的结构如图 10-7(a)所示,反管器的工作原理如图 10-7(b)所示。这种反管器可用人力或借助机械力进行反管。棘轮反管器有单把手反管器和双把手反管器两种。



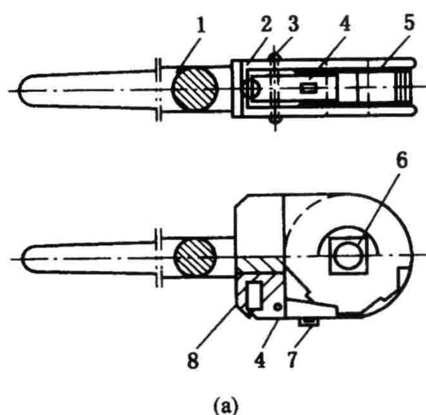
1 – 卡瓦;2 – 千斤顶;3 – 垫木;4 – 事故钻具

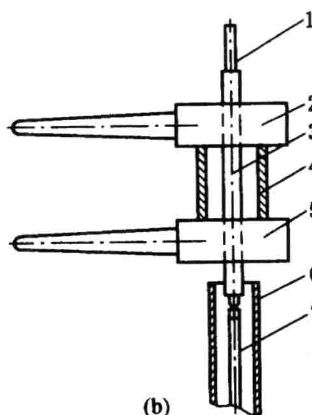
图 10-5 强力起拔事故钻具



1 – 锁母;2 – 传动轴;3 – 上震击锤;
4 – 外管;5 – 下震击锤;6 – 六万头;7 – 六万套

图 10-6 孔内震击器





a – 棘轮反管器结构示意图:

1 – 把手;2 – 支撑;3 – 销轴;4 – 棘轮卡;5 – 棘轮;6 – 方接手;7 – 耳环;8 – 弹簧

b – 棘轮反管器工作示意图:

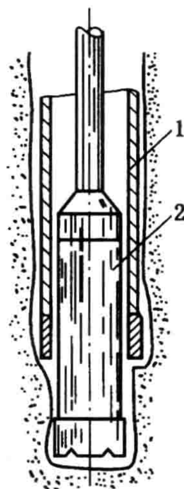
1 – 机上钻杆;2 – 上反管器;3 – 方接手;4 – 垫管;5 – 反管器;6 – 孔口管;7 – 事故钻具

图 10-7 棘轮反管器及其原理

(10)炸　用烈性炸药、电雷管、金属外壳组成小炸药包(金属外壳要小于事故钻杆接头外径),用双股胶质电线连接,从事故钻杆中放下去,直至需要的深度,通电引爆,炸断事故钻杆或震松事故套管,然后提出孔外。这种方法在其他方法不能奏效时可考虑使用,但要注意安全。

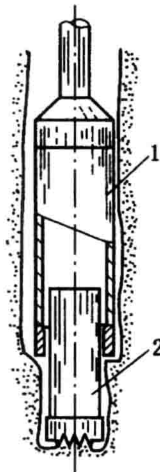
(11)透　通过以上方法处理,当孔内仅剩下粗径钻具时,可采用透的方法。首先把螺丝头钻掉,打捞上来,再用比事故粗径钻具小一级或二级的小径进行透(也叫钻小眼)。在透的过程中通过小径钻具的振动,使事故粗径钻具周围的被卡物振松或被冲洗液冲动而掉入小孔内。钻小孔约 2 ~ 3 米后,即采用公锥或水压捞管器进行试捞。如果仍然有劲,把公丝锥拉脱后,用弯钻杆在事故粗径钻具内快速旋转,用离心力敲打管壁。一般经过适当振动,即可振松。这对卡、埋、挤、烧等事故比较有效。透过事故钻具如图 10-8 所示。

(12)扩　如果事故发生在上部较软地层的浅部位,通过处理仅剩下短钻杆和粗径钻具后,又考虑其周围阻力较大时,可采用比孔内事故钻具大一级的钻具进行扩孔套取。扩孔套取事故钻具如图 10-9 所示。扩到孔底后,扩孔钻具可将事故钻具带上来,如带不上来可用丝锥捞取。



1 - 事故岩心管;2 - 透孔钻具

图 10-8　透过事故钻具

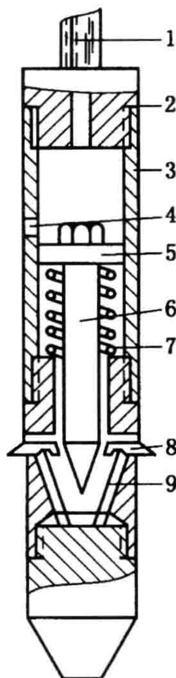


1 - 扩孔钻具;2 - 事故钻具

图 10-9　扩孔套取事故钻具

(13)劈　孔内剩下的事故粗径钻具,如果钻透无效,上部岩层硬,孔又深不便扩孔时,可采用环状切铁钻头劈开粗径管,然后用同径或小一径岩心管及抓筒捞取剩下之小半节。切劈钻头可采用长排密集式合金钻头。长排密集式合金钻头还可用于捞磨取粉管接头和铣切挤夹钻杆接头。

(14)割　用简易偏心割管器将粗径事故岩心管或套管分段割断,然后用公丝锥分段捞取。简易偏心割管器种类较多。如图 10-10 所示为一种割管器,割盘外径比事故管内径小2 ~ 3 mm。



1－钻杆;2－异径接头;3－割刀壳体;4－出水孔;
5－活塞;6－推杆;7－弹簧;8－割刀;9－弹簧片

图 10-10　水压割管器

(15)剥　当事故处理到孔内尚有少量钻杆或钻铤,用其他方法很难处理;又因事故钻具拧得很紧,用反丝钻杆又反不开时,可采用逐根剥皮、逐根反取的方法处理。即用剥皮钻把钻杆或钻铤的接头剥掉一层皮,然后用公锥反取。

(16)偏　孔内事故经过多种方法处理无效时,在地质设计允许情况下可采用偏(人工孔斜)的方法处理。偏即是在事故钻具上部适当位置下一个 2°～3°的楔子,偏过事故钻具,另打新孔继续钻进。

在处理孔内事故的过程中,往往采用单一的方法。但应根据孔内事故不断变化的实际情况,有针对性的进行处理。

复习思考题

1. 简述封孔的目的和要求内容。

2. 叙述封孔材料及封孔方法。

3. 处理孔内事故的基本方法有几种？请简述。

第十一章 冲孔、护壁与堵漏

冲孔指在钻进过程中，冲洗液持续注入钻孔底部、流经孔壁、返回地面形成循环的过程。冲洗液有液体与气体两种基本状态，可分出许多种类，种类的选择取决于钻探工程的用途、钻进方法、地层的性质。在松散地层中钻进，孔壁常会掉块、坍塌，需要利用冲洗液进行护壁堵漏。在有裂隙的地层中钻进时，冲洗液漏失，不仅加大了冲洗液消耗量，而且冲洗液进入岩层裂隙后，破坏了岩层及含水层的原始状态，对于鉴定地层物理化学性质、简易水文观测及后期钻孔抽水实验都有影响。因此，在钻进过程中，选用合适的冲洗液、护壁堵漏材料，具有重要意义。

第一节 概 述

一、冲孔

冲孔是钻进过程中的一个重要环节，冲洗液及时有效地冷却钻具并将钻进时产生的钻屑带出孔外，提高了钻速，延长钻头寿命，使钻进连续进行。另一方面冲孔也起着保护孔壁堵漏的作用。

（一）冲孔的意义

（1）清洗孔底，携带和悬浮钻屑。在孔底，钻头破碎岩石产生的钻屑，由循环冲洗液清洗并带出地表，减少岩屑重复破碎，提高钻进效率，保证钻进连续进行。当冲洗液停止循环时，冲洗液的悬浮作用减缓钻屑短期内沉积孔底，造成埋钻事故。小口径岩心钻探时，因岩粉颗粒细、数量小，可选用悬浮能力低的冲孔流体，如清水、乳状液等。大口径全面钻进时，因钻屑颗粒粗、数量大，应选用悬浮能力强的流体，如泥浆等。

（2）冷却钻头。钻头回转破碎岩土时，钻头与岩层摩擦产生大量的热，聚积在钻具上。钻具长时间处于高温状态，降低碎岩效率和钻具寿命，甚至引起烧钻事故。循环的冲孔流体，会大幅降低钻具的温度，冷却钻头。

（3）保护孔壁。实现压力平衡钻进。在松散、松软、破碎的地层中钻进时，常出现孔壁坍塌、掉块、缩径现象，冲孔流体能起到稳定孔壁的作用，实现压力平衡钻进。压力平衡钻进，是指冲孔流体对孔壁的压力与该处地层裂隙内的流体压力相等，压力达到平衡，钻进时可防止冲洗液漏失或井喷。

（4）润滑钻具。在高速回转钻进和钻进深孔时，使用润滑性冲洗液，减少回转摩擦

力,降低回转振动。

(5)参与碎岩。冲孔流体可以直接参与破碎岩石,如石油钻井中的高压喷射钻进。

(二)冲洗液的分类

钻进过程中的冲洗液,种类很多。在施工中,应根据钻进方法、钻进地层、钻孔目的、孔深以及孔壁稳定程度等因素,选择合适的冲洗液。按冲洗液的组成和性能可分为5类。

1. 清水

适合于孔壁稳定、低转速及浅孔施工。清水冲孔,能快速冷却钻具,钻进效率较高。但对孔壁无保护作用,对钻具润滑性也差。

2. 润滑冲洗液

适合于高转速钻进和深孔钻进。冲孔液体中加入皂化油脚和癸脂酸钠,得到润滑性的冲洗液。

3. 泥浆

泥浆是一种广泛使用的冲洗液,应用于孔壁不稳定的钻孔和钻速快、岩粉多且颗粒粗的钻孔。它分两大类:水基泥浆和油基泥浆,在钻探施工中水基泥浆应用普遍。特点:黏度大,相对密度大,携粉和悬浮能力强,在孔壁上能形成一定厚度的结实泥皮保护孔壁,泥浆的相对密度调到一定大时,还可以防止井喷。但当泥浆黏土含量高时,钻头碎岩效果差,钻进效率较低,且对钻具有冲蚀、磨蚀作用。

4. 无固相聚合物冲洗液

它是高分子聚合物的水溶液,具有胶结护壁好,相对密度小,钻速高等特点,应用广泛。

5. 低密度流体

主要用于缺水地区和钻孔冲洗液严重漏失的地层。低密度流体指密度小于1.0 g/cm^3的空气或气液混合体。空气,是最廉价的冲孔流体。气液混合体可分成雾气、泡沫和充气液体3类,其中空气泡沫应用较多。低密度流体冲孔具有钻进效率高的特点,但因携带岩屑能力低,能量消耗高,较少使用。

二、护壁

钻进时,造成孔壁坍塌,掉块等有多种原因,单从一方面难以概括,它是多种因素在孔内相互作用的结果。其中因岩层松软、松散以及岩层裂隙发育等造成孔壁不稳定,是非钻探因素,必须进行护壁处理。因孔壁岩层应力状态的变化,冲洗液的破坏,压力激动的破坏等原因而造成孔壁不稳定属于钻探因素。在施工中,改进钻探技术与工艺在一定程度可以控制。

(一)造成孔壁不稳定的原因。

孔壁岩层应力状态的变化钻进时,孔壁岩石原始应力平衡状态被打破,当超过岩石的抗张强度或抗压强度时,孔壁破坏。脆性岩层产生压裂而垮塌,即塌孔。塑性岩层产生塑性变形,钻孔直径变小,即造成缩径的孔壁失稳,引起卡钻等严重的孔内事故。

1. 孔壁岩石受力来自3方面

①静液柱压力是由液柱质量引起的压力，其大小与液柱的单位质量及孔深有关，与液柱的横向尺寸及形状无关；②上覆岩层压力指岩石承受的上覆岩层以及岩层中的孔隙水(油、气)的总质量，其大小随孔深的增加而增加；③地层孔隙压力是指作用在岩石孔隙内流体上的压力，即从地表到地下该地层处的静液柱压力。

2. 冲洗液的破坏作用

冲洗液的破坏作用包括两个方面：①冲洗液对泥页岩地层的水化作用，发生坍塌、剥落、膨胀等；②冲洗液对孔壁岩层的直接冲刷作用，使孔壁岩层破坏并导致孔壁失稳。小口径钻进时，钻具与孔壁的间隙小，冲洗液在环空中的上返速度大，处于紊流状态，对孔壁的冲刷作用大，对孔壁稳定不利。环空中的上返流速与泵的排量、环空尺寸有关，降低泵的排量，环空流速变小，对孔壁稳定是有利的。

3. 压力激动的破坏作用

压力激动的破坏作用是由钻具升降引起的。在有液体的孔内，钻具运动引起孔内某一点的液体压力骤增或骤减，形成压力激动。压力激动带来的危害有：①孔壁失稳而垮塌，造成卡钻、埋钻事故；②因孔内液柱降低引起井涌和井喷事故；③造成地层被压裂，漏失冲洗液。

压力激动的大小与钻具升降速度相关，下钻时，冲洗液在高速下落的钻具的挤压下产生出高的冲击动能，使孔壁周围岩层承受很高的挤压力，孔壁由此而被压裂。起钻时，岩心充满整个取心钻具，粗径钻具如同一活塞，在钻具高速上行时，环空间隙小，下行的液体来不及补给，使钻头下部的空腔产生负压，对孔壁岩层产生抽吸压力，孔壁周围的岩层因失去原来的孔内压力平衡而造成垮塌。孔愈深，下钻或起钻的速度愈大，产生的挤压压力或抽吸压力愈大，对孔壁周围岩石的破坏也愈大。

(二)稳定孔壁的方法

由上述分析可知，稳定孔壁的最有效方法为：根据孔壁岩层的性质、应力状态，建立起孔内各种压力间的压力平衡，完全实现压力平衡钻进。但在施工中，仅依靠压力平衡钻进护壁不现实，常采用防塌泥浆稳定孔壁、胶结法护孔及套管护孔。

1. 防塌泥浆稳定孔壁

根据不同岩层产生失稳的特征，选用合理的防塌泥浆，调整其组成及性能，并采用相应的防塌措施，对于遇水失稳地层是重要的方法。防塌泥浆的种类有多种，常应用的泥浆有：

(1)钙盐体系防塌泥浆 石灰泥浆、石膏泥浆、氯化钙泥浆；

(2)钾盐体系防塌泥浆 氯化钾、氢氧化钾、聚合物等；

(3)沥青类泥浆 乳化沥青泥浆；

(4)油基泥浆 主要为油包水反相乳化泥浆；

(5)MMH泥浆 MMH泥浆是人工合成的晶体溶胶，能有效阻止黏土离子的交换，抑制黏土矿物的渗透水化作用；

(6)有机阳离子聚合物泥浆。

2. 胶结法护孔及套管护孔

钻进中遇到严重的不稳定地层，如不胶结的松散和流砂砾石层时，容易形成破碎带和坍塌地段，用上述方法进行护壁作业难以见效。此时，必须暂停钻进，进行专门护壁作业，一般采用胶结护壁或套管护壁。

三、堵漏

堵漏是钻进过程中经常遇到的难题，尤其在复杂地层钻进时，冲洗液从孔内向周围岩石产生明显的泄漏，消耗掉大量的冲洗液，有时会因钻孔漏失引起孔内垮塌、卡埋钻具，造成钻进困难。钻孔漏失处理不当可引起孔内其他事故，造成钻孔报废。这些不仅影响钻进速度和钻井质量，而且会带来时间和经济上的巨大损失。因此，要认真分析研究钻孔漏失的原因和规律，采取有效的防治措施，做好堵漏工作。

（一）钻孔漏失的原因

造成钻孔漏失必须具备两个条件，一是孔壁岩石中存在漏失通道；二是孔内液柱压力大于孔壁岩层内的应力。

岩层中必然存在孔隙、裂缝、洞穴，只是发育程度与贯通性不同，漏失通道的存在是产生漏失的客观因素，不可预防。在钻进过程中，钻孔结构、冲洗方法、冲洗介质的种类及其参数选择，升降作业的操作，钻具转速，冲洗液沿环空的流动速度等，是形成孔内液柱压力与孔壁岩层内的应力之差的主要原因，这类原因是可以控制和调节的，属于工艺技术原因，是防止漏失的主观因素。

（二）漏失通道及漏失观测

钻孔漏失通道分为孔隙、裂隙和洞穴 3 种。

1. 孔隙

岩石中的孔隙常用孔隙率表示。孔隙率是岩石中孔隙的体积和岩石总体积之比。岩石孔隙率的大小取决于组成岩石的颗粒直径、颗粒形状以及相互堆积的状态。一般而言，砂岩和灰岩孔隙率为 20% ~25%。

2. 裂隙

岩石中裂隙开口的大小变化很大，从 0.1 mm ~1 m 或更大的裂隙，只要岩石中存在 0.1 ~1 mm 大小的裂隙，在一定的条件下就足以造成冲洗液的漏失。根据裂隙开口程度，裂隙可分为 5 类（如表 1-1 所示）。

表 11-1　裂隙按开口程度分类

裂隙分类	裂隙开口/mm
细微裂隙	<0.1
小裂隙	0.1 ~1.5
中裂隙	1.5 ~20
大裂隙	20 ~100
极大裂隙	>100

3. 洞穴

洞穴见于易溶岩石，如碳酸盐、硫酸盐、岩盐层等分布的地区，大小差别很大，小的只有几毫米到几厘米，大的可达几米至几十米，甚至上百米。在洞穴性地层中钻进，不仅易产生冲洗液漏失，还可能发生钻具陷埋事故。随着深度的增加，岩石的洞穴逐渐减弱。钻孔漏失日常观测工作由钻探班组人员完成，观测项目主要有：①观测冲洗液循环池中液体体积的变化；②用流量计检测进、出孔的冲洗液量；③孔内静水位的变化；④采取岩心裂隙的分布情况；⑤钻孔进尺情况，机械钻速的变化等。

(三)钻孔漏失防治方法

钻孔漏失治理的方法分为4类，增阻法与注浆固结法应用最为普遍，当这两种方法治理漏失无效时，改用下套管隔离法或选择其他冲洗液钻进。

1. 增阻法

该方法适用轻微漏失孔段。将非固结硬化泥浆(需要时加入惰性材料)注入漏失带，增大漏失通道中液体流动的阻力，减小漏失通道的断面，甚至可以完全堵塞漏失通道，达到防漏治漏的目的。治理后必须用泥浆恢复钻进。

非固结硬化泥浆主要有以下几种：

(1)稠泥浆　稠泥浆静止时，岩粉和黏土沉淀，堵塞漏失通道，减小或消除漏失，一般需要静止沉淀一天以上时间才能有效。

(2)高黏高切低相对密度泥浆　用优质膨润土造浆，并加入增黏及降失水用高聚物，注入漏失带，形成致密坚韧的泥皮，封闭微裂隙。

(3)其他泥浆　泥浆中加入水泥、氯化钙、水玻璃、石灰乳、聚丙烯酰胺等制成性能不同的泥浆，如胶泥浆、石灰乳泥浆、聚丙烯酰胺泥浆等。

(4)加惰性充填材料的泥浆　泥浆中加入各种形状的惰性充填材料，堵塞漏失通道，从而消除漏失。常用的堵漏材料如表11-2所示。

表11-2　常用的堵漏材料

<table>
<tr><th>充填材料</th><th>形状</th><th>粒径/mm</th><th>百分比</th><th>浓度/(kg·m^{-3})</th><th>堵塞裂隙的最大尺寸/mm</th></tr>
<tr><td rowspan="4">核桃壳</td><td rowspan="4">粒状</td><td>4.76~1.94</td><td>50</td><td rowspan="2">57</td><td rowspan="2">50</td></tr>
<tr><td>1.94~0.146</td><td>50</td></tr>
<tr><td>1.94~1.19</td><td>50</td><td rowspan="2">57</td><td rowspan="2">3.0</td></tr>
<tr><td>1.19~0.59</td><td>50</td></tr>
<tr><td rowspan="2">塑料</td><td rowspan="2">粒状</td><td>4.76~1.94</td><td>50</td><td rowspan="2">57</td><td rowspan="2">5.0</td></tr>
<tr><td>1.94~0.146</td><td>50</td></tr>
<tr><td rowspan="2">石灰石</td><td rowspan="2">粒状</td><td>4.76~1.94</td><td>50</td><td rowspan="2">114</td><td rowspan="2">3.0</td></tr>
<tr><td>1.94~0.146</td><td>50</td></tr>
<tr><td rowspan="2">锯末</td><td>3.0</td><td colspan="2">纤维状</td><td>6.36</td><td>28.5</td></tr>
<tr><td>纤维状</td><td colspan="2">1.59</td><td>59</td><td>0.5</td></tr>
</table>

续表

充填材料	形状	粒径/mm	百分比	浓度/（$kg \cdot m^{-3}$）	堵塞裂隙的最大尺寸/mm
赛璐珞	3.0	片状		19	23
	片状	12.7		23	1.5
树皮	纤维状	9.52		34	1.5
碎木	纤维状	6.35		23	1.0
膨胀珠光体	粒状	1.94～0.146	50	170	3.0
		1.94～0.146	50		
棉籽	粒状			28.5	1.2

惰性充填材料可以单独使用,也可以复配使用。堵塞效果与颗粒大小、形状、粒度、数量及颗粒的级配等有关。粗颗粒在裂缝中形成堵塞骨架,细小颗粒充填其中,减少渗透性和提高稳定性。惰性充填材料的最大尺寸应等于裂缝开量的1/2,而且不同大小的填充材料应按照一定的比例配合,才能得到最佳效果。

2. 注浆固结法

采用各种堵漏浆液,注入漏失带,封堵漏失通道,这种方法一般是固结硬化性的。治理后可得到强度较高的不漏失固结圈。因此,后续钻进时可采用不同种类的冲洗介质。常用的固结硬化堵漏浆液有水泥浆液与合成树脂浆液两类(详见本章第五节)。

(1)水泥浆液　以水泥为基础原料,用水调制而成。根据需要还可以加入速凝剂、早强剂、减水剂等,以调节浆液性能,水泥浆液应用广泛。主要优点为:材料来源广,价格便宜,浆液性能可调,无毒,结石强度高,操作简便;缺点:相对密度大,微裂隙难以渗入,泵送压力大,易被地下水稀释等。

(2)合成树脂浆液　它又称化学浆液,常见的化学浆液有:脲醛树脂浆液、水玻璃浆液、聚丙烯酰胺浆液、不饱和树脂浆液等。它是以人工合成树脂为主要原料,在固化剂的作用下迅速形成具有一定强度的固结物,从而封堵裂隙、洞穴等漏失地层。特点:浆液流动性好,固结快,价格较贵,有毒,易燃。

3. 隔离法

对大裂缝、大溶洞以及严重漏失,涌水,严重坍塌地层,使用前述方法护孔或堵漏无效时,或处理时间过长,材料消耗很大的情况下,采用套管护孔进行隔离是行之有效的办法。隔离法还可用于隔离表土覆盖层的严重垮塌和加固孔口基础。下套管隔离后,钻进可恢复正常,但需减小一级口径。

4. 其他方法

改液体冲洗钻进为空气洗井钻进,气液混合液钻进,无泵钻进等。

第二节 泥 浆

泥浆由黏土、泥浆处理剂以及水配制而成。在钻进过程中,起着冷却钻头、携带岩屑、保护孔壁以及堵塞孔壁漏失通道的作用。泥浆由泥浆泵送入孔内,流经孔底后返回地面进入沉淀池,循环使用。钻孔所需泥浆总量等于孔内泥浆量、循环系统泥浆量、泥浆损失量和泥浆储备量4部分之和。黏土是配制泥浆的主要原料,由极细小的含水硅酸盐矿物组成,成分复杂,黏土的构成决定了泥浆的性能。泥浆处理剂用来改变泥浆的性能,种类很多,根据施工中的要求选择合适的泥浆处理剂。

一、常见的造浆黏土矿物

造浆用黏土矿物有4种:蒙脱石、海泡石、高岭石和伊利石。以蒙脱石为主的膨润土,水化性能强,吸附性能好,是配制泥浆的优质原料;海泡石族的棒状黏土,抗盐性能特别好,热稳定性较高,是配制盐水泥浆和耐高温泥浆的优选原料;以高岭石和伊利石为主的黏土,最为常见,但水化性能差,造浆性能不好,不是配制泥浆的优选原料。

二、泥浆处理剂

泥浆的处理剂有许多种类,按化学成分分为无机处理剂与有机处理剂两类。

1. 无机处理剂

无机处理剂改变泥浆性能的途径有:①通过离子交换,改变黏土颗粒表面阳离子的种类和浓度,调节颗粒聚结与分散状况,使泥浆的性能适应钻井的需要;②无机电解质与有机处理剂产生中和、水解等反应,改变有机处理剂的官能团性状、分子形态,调节有机处理剂与黏土颗粒的吸附关系,达到调节泥浆性能的目的。

常用的无机处理剂有:

(1)碳酸钠　又称纯碱,使钙质黏土转为钠质黏土,调节溶液的pH值等;

(2)氢氧化钠　又称烧碱,用于有机处理剂的中和或水解,调节溶液pH值;

(3)氢氧化钙、硫酸钙、氯化钙　主要用于配制抑制性钙处理泥浆;

(4)氯化钠　又称食盐,主要用于配制盐水泥浆;

(5)水玻璃或硅酸钠　用作泥浆的结构剂和配制抑制性无黏土相冲洗液;

(6)三氯化铁、硫酸铝　在泥浆处理中用作交联剂。

2. 有机处理剂

有机处理剂在改变泥浆性能上有重要作用,不加入有机处理剂几乎不可能配制出合乎要求的泥浆。随着化学工业、生物工程的发展,有机处理剂的种类日益增多,使用量不断增加。

按有机处理剂分子结构特点可分为:非离子型、阴离子型、阳离子型和混合型;按有机处理剂的成分可分为:丹宁类、木质素类、纤维素类、腐殖酸类、丙烯酸类、类和特种树

脂类等。

常见的有机处理剂种类有：降失水剂、稀释剂、絮凝剂、增黏剂、页岩稳定剂、润滑剂、起泡剂、消泡剂、乳化剂等。

三、泥浆用水

水是钻探泥浆和乳状液的重要组成部分，水质对泥浆和乳状液的性能有着很大的影响。因此，在配制泥浆和乳状液时必须给予足够的重视。

对泥浆性能破坏最严重的是水中的可溶性盐类，如重碳酸盐、钙镁盐、钠盐。这类盐的 Cl^{1-}、SO_4^{2-}、Ca^{2+}、Mg^{3+} 侵入泥浆后，泥浆性能明显变化，黏度和切力猛增，失变大。产生变化的主要原因是 Ca^{2+}、Mg^{3+} 等离子与黏土表面吸附的阳离子进行结合，改变了黏土表面的性质，使黏土表面的水化膜变薄，颗粒间的引力增大，形成网状结絮凝（聚结）沉淀，放出大量的自由水。

四、泥浆的配制

在地质勘探岩心钻探工作中，配制泥浆的形式有两种：一是分散配制，此种形式多在分散施工时使用；另一形式是集中配制，此种形式多在开动钻机台数多而集中的矿区用，由泥浆站统一配制，用管线或泥浆车送往各机场。集中配制可以做到专人管理和保证泥浆质量，一次供应泥浆量大，能满足钻孔漏失时的应急需要。

不同应用领域的钻探对泥浆质量标准各异，对配制原料要求不同。对泥浆质量的要求是：如水文地质钻探，配制原料一黏土应尽可能就地取材。踏勘孔位的同时对当地黏土目测与选择。造浆黏土目测特征：①干燥的黏土有较高的抗断性，破碎后具有坚固锐断口、用手很难捏碎，用刀切开后断面光滑；②浸湿后有黏滑感，加水搅和后容易直径不大于 1 mm 的细长泥条。

配制泥浆用水，无特殊要求时，一般淡水均可。配制时，先将坚硬黏土块捣碎，用水浸湿泡透，然后放入泥浆搅拌机内或水箱中用机械或人工搅拌。

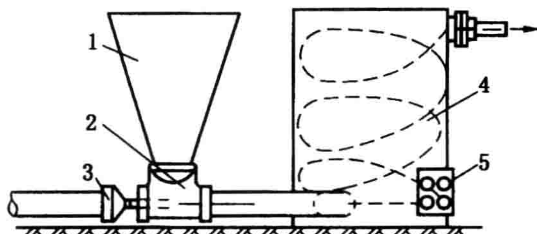
（1）人工搅拌　将黏土和水同时放入水箱内用木棍搅拌；

（2）机械搅拌　机械搅拌分卧式与立式搅拌机。先向搅拌机内加水，然后边搅拌边加入浸泡好的黏土。搅拌过程中经常测定泥浆相对密度、黏度等，达到要求指标后即可停止搅拌；

（3）水力搅拌　水力搅拌有喷枪法和水力泥浆搅拌器搅拌法。

①喷枪法：水泵排出的水流，经排水管末端的喷嘴高速射出，喷射在黏土粉上，约 30 ~ 40 min 后制成泥浆；

②水力泥浆搅拌器搅拌法：黏土粉由漏斗中陆续加入搅拌器中，与水泵送来的水混合进入容器底部。在水力作用下，螺旋上升至容器上部，循环几次，黏土粉便可分散均匀，制成泥浆（如图 11-1 所示）。



1－漏斗;2－三通管;3－喷嘴;4－容器;5－钢板

图 11-1　水力泥浆搅拌器

五、泥浆的性能及其测定

在钻进过程中,泥浆的性能对钻速、泵压和悬浮携带岩粉有直接影响,泥浆性能主要有:泥浆黏度、静切力、动切力及触变性。

1. 泥浆黏度

泥浆是塑性流体,其黏度可用表观黏度、塑性黏度以及结构黏度来表示。表观黏度是指在某流速梯度下,流速梯度除相应的切应力所得的商,单位为泊或厘泊。表观黏度包括塑性黏度与结构黏度两部分。塑性黏度不会随流速梯度的改变而变化,结构黏度会随着流速梯度的变化而变化。

泥浆的黏度应根据地层岩性来确定,黏度大的泥浆对携带孔底岩粉、防止孔壁坍塌掉块,防止或减小泥浆的漏失等有益。但对泥浆的净化,水泵的抽吸不利,同时会造成泵压过高,造成糊钻,影响钻进效率。特别是小口径金刚石钻进时,因孔壁间隙很小,起下钻具易发生抽吸或压力激动,以致引起漏、喷、塌等孔内事故。泥浆黏度过低,携带岩粉困难,遇破碎漏失水层不利于防止坍塌和漏失。泥浆黏度(单位:厘泊)为:在黏土层18～20、砾石覆盖层22～25、砂岩层20～22,裂隙地层25～30以上。泥浆初切力在20 mg/cm^2以内,终切力在20～60 mg/cm^2。

钻探现场测定泥浆黏度是用漏斗黏度计进行的(如图11-2所示),由漏斗、量杯、滤网等组成。漏斗管口内径为5 mm、管长100 mm,量杯中部用隔板相隔,上端容积500 mL,下端200 mL。新仪器在使用前应进行标定,漏斗流出500 mL清水时,秒表的读数为15,则为仪器标准。测量泥浆黏度时,操作方法同上。测量结束,由下式计算泥浆黏度:

$$泥浆黏度=\frac{500\ ml\ 泥浆流出的时间(s)}{500\ ml\ 清水流出的时间(s)}\times 15$$

2. 泥浆静切力测量

常用设备有铝筒下沉切力计、电动转筒式切力计、U形管及毛细管切力计等。对以铝筒下沉式静切力计为例进行简要说明。

铝筒下沉式静切力计(如图11-3所示)结构简单,易于操作。由带有刻度尺的泥浆杯、薄壁铝质筒组成。铝筒—质量5 g,厚壁0.2 mm,直径35.5 mm、高90 mm。测量时,将待测泥浆用力搅拌后,迅速倒入泥浆杯中,按动秒表,用右手拇指和食指夹住铝筒。1 min后,松开铝筒,铝筒沿刻度标尺垂直自由切入泥浆,当铝筒停止下沉时,铝筒的质量等

于泥浆静切力,筒上端在刻度尺上的读数即为泥浆的初切力值。取出铝筒并用布擦净后,再用力搅拌杯中的泥浆,按动秒表计时。10 min 时,再按上法使铝筒自由切入,待铝筒完全停止下沉时,读出筒上端所指刻度值,此值为泥浆的终切力。测量完毕,倒净泥浆,用清水冲洗仪器,用布将铝筒擦干以备再用。

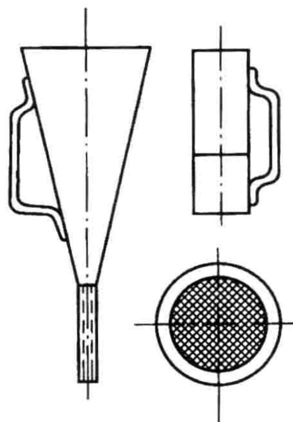
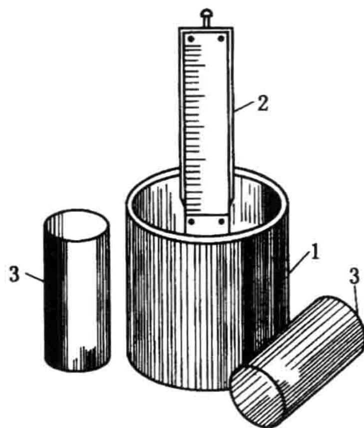


图 11-2 漏斗黏度计



1 – 泥浆杯;2 – 刻度尺;3 – 铝筒

图 11-3 铝筒下沉式静切力计

3. 泥浆相对密度

泥浆相对密度指泥浆质量与同体积水质量的比值,它的大小取决于泥浆中黏土、加重剂、化学处理剂、岩粉的种类与含量。选用造浆率高的膨润土配制泥浆,黏土用量少,泥浆相对密度低,一般为 1.03 ~ 1.05。若用造浆率低的黏土配制泥浆,黏土用量多,泥浆相对密度大,一般在 1.2 以上。另外,泥浆中岩粉含量增大或加入加重剂后,会使泥浆相对密度增大,泥浆中混入大量气体或加入发泡剂,会使泥浆的相对密度降低。

泥浆相对密度对钻进工作有很大影响,在正常情况时应尽可能降低泥浆相对密度,既有利于提高机械钻速,也有利于提高金刚石小口径钻进时的钻具转速。当钻孔漏失时,也应尽量降低泥浆相对密度,能够防止或减轻泥浆的漏失。在涌水或井喷地层中钻进,应提高泥浆相对密度,防止涌水,井喷事故的发生。提高相对密度能够平衡孔壁侧压力,保持孔壁稳定,对顺利通过松散、破碎、容易坍塌的地层非常重要。

测量泥浆相对密度的仪器类型很多,常用的是泥浆相对密度秤,它由支架、泥浆杯、秤杆、游码、平衡重容器等组成。秤杆刻度范围为 1.0 ~ 2.0,测量精度为 0.01。测量前,应对仪器进行调整,盛满清水的泥浆杯放入秤盘上,通过加减平衡重容器中的配重物,使水准气泡处于正中。测量时,泥浆倒入泥浆杯,放入秤盘上,拨动游码,水准器气泡位于正中时,读出游码在秤杆上的刻度值,此值即为泥浆的相对密度。测量完成后,将泥浆倒掉并用清水洗净仪器,擦干后以备再用。在放置仪器时,不准将刀口放在刀口座内,以防磨损影响测量精度。

4. 泥浆固相含量测量

泥浆固相含量测量使用 ZNG 型泥浆固相测定仪,它由蒸馏器、加热棒、电线接头、冷

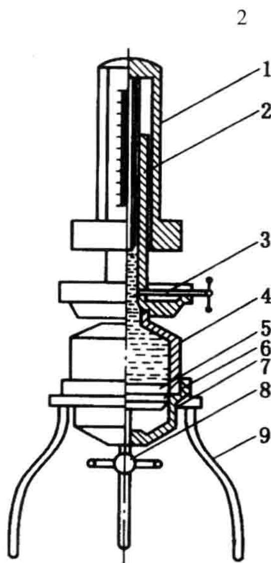
凝器、量筒等部件组成。操作步骤分为取样、蒸馏、冷却、称重4步。

5. 泥浆失水量、造壁能与泥皮黏滞性

孔内的泥浆在压力差的作用下,泥浆中的自由水会透过地层的裂隙或孔隙而丢失,这种现象叫泥浆失水,在一定条件下失水的多少叫失水量。在泥浆失水的同时,黏土颗粒被阻滞在孔壁上形成一层泥皮,其厚度叫泥皮厚。泥浆在孔壁上形成泥皮的能力叫造壁能。

测量泥浆失水量的仪器有多种类型,常使用的有:1009型泥浆失水量测定仪与ZNS型泥浆失水量测定仪两种。ZNS型泥浆失水量测定仪,由气源总体部件、减压阀、压力表放空阀、泥浆杯、量杯支架等组成。如图11-4所示为1009型泥浆失水量测定仪。测量时,要检查筛板是否擦净、筛孔是否通畅,并检查密封处的垫片是否完好。泥浆在泥浆罐中的失水时间一般为30 min时,在重锤刻度板上读出泥浆失水量数。测量泥皮厚度时,一定要用清水轻轻冲洗去除泥皮上的浮泥浆,测量结果才准确可靠。测量完毕,要将仪器各零件擦拭干净,组装好放置在仪器箱里。

2



1－重锤;2－加压筒;3－调节针阀;4－泥浆罐;5－筛板;
6－阀板;7－泥浆罐底座;8－顶杆;9－支架

图11-4　1009型泥浆失水量测定仪

6. 泥浆含砂量

泥浆含砂量指泥浆中大于74 m的砂粒(即不能通过200网目筛子的砂粒)占泥浆总体积的百分数。泥浆含砂量的大小取决于造浆黏土本身含砂量以及钻进时泥浆净化的程度。泥浆含砂量大时,容易加速水泵零件的磨损,孔壁上形成的泥皮厚且松散,泥皮易脱落以及冲洗液循环中断时砂子沉淀造成埋钻事故。因此,泥浆含砂量愈小愈好,一般含砂量不应大于4%。测量泥浆含砂量常用含砂量量杯、ZNH型泥浆含砂量测定器。

(1)含砂量量杯(如图11-5所示)　50 mL泥浆与450 mL清水倒入量杯,用力振荡。

泥浆全部稀释后，垂直静置 1 min，读出沉淀砂层顶部在沉淀管的刻度数，该数乘以 2 即是泥浆含砂量的百分数。

（2）ZNH 型泥浆含砂量测定仪（如图 11-6 所示）　由过滤筒、漏斗及玻璃量筒组成，过滤筒中间装有不锈钢筛网，规格为 200 孔/cm（或 80 孔/cm），玻璃量筒刻度的最小分度为0.2 mL。在玻璃量筒中一定数量的待测泥浆，经清水冲洗，小于 200 网目砂粒筛下，筛网上的砂粒大于 200 网目，倒入玻璃量筒，读出数值，代入下式计算：

$$含砂量 = \frac{砂子体积(mL)}{所取泥浆的体积(mL)} \times 100\%$$

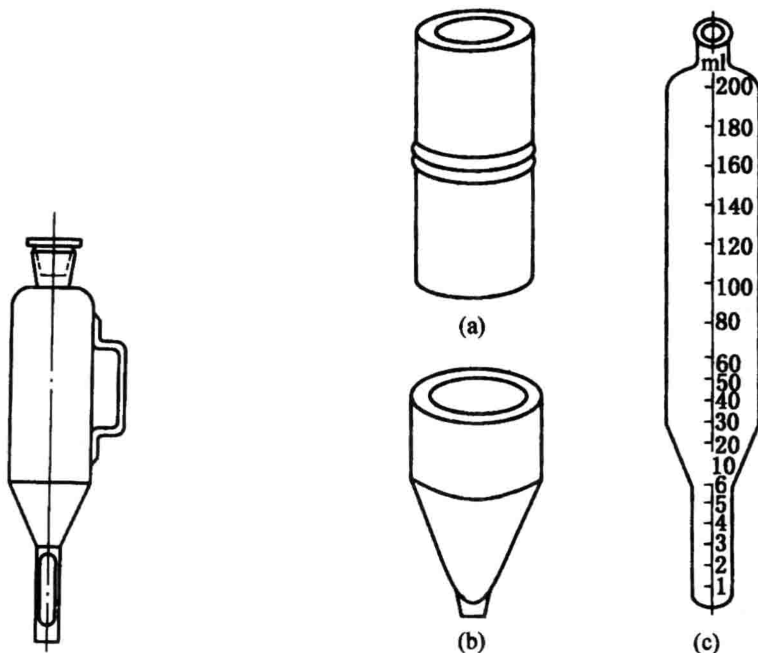


图 11-5　含砂量量杯

a－过滤筒；b－漏斗；c－玻璃量杯

图 11-6　ZNH 型泥浆含砂量测定仪

7. 泥浆稳定性

泥浆是黏土和水组成的分散体系，欲使分散体系保持稳定，就必须使其首先获得动力稳定，然后再获得聚结稳定。现场测量主要是泥浆的动力稳定性。测量方法是将待测泥浆注入稳定计中，静置 24 h。将稳定计上塞阀打开，将上部泥浆放入一容器中，再打开下塞阀，将下部泥浆放出。然后分别测量上、下两部分泥浆的相对密度，用其差值来表示稳定性，一般上下部泥浆相对密度差值小于 0.06。

8. 泥浆胶体率

泥浆静止 24 h 后，形成明显的弧层，上层为澄清的水，下层为泥浆。把下层泥浆体积占总体积的百分数称为泥浆的胶体率。胶体率是衡量泥浆性能的重要指标，是选择造浆黏土的重要依据，一般泥浆的胶体率最小不得低于 97%。测量仪器：1 支 100 mL 的量筒（刻度为 1 mL）和 1 块平板玻璃片。测量方法：将待测泥浆注入量筒，然后用玻璃盖好，防

止水分蒸发,静置 24 h。观察量筒上部澄清水的体积,如果量筒上部没有澄清水,则泥浆胶体率为 100%;如果量筒上部清水容积为 2 mL,则泥浆胶体率为 98%。

9. 泥浆的 pH 值

泥浆 pH 值又称泥浆酸碱值,对泥浆性能有重大影响,也是泥浆进行化学处理的重要根据。pH <7 时,泥浆呈酸性,pH 值愈小,酸性愈强;pH =7 时,泥浆为中性;pH >7 时,泥浆为碱性,pH 值越大,碱性越强。一般情况泥浆 pH 值应控制在 8 ~10 之间。使用 pH 试纸测量泥浆滤液的 pH,取 pH 试纸一条,浸沾泥浆滤液后取出,与标准色板比较,读出 pH 值。这种方法比较粗略,若要求测量精度较高时,应采用酸度计测量。

六、泥浆的净化与现场管理

泥浆的净化即清理泥浆内的砂子。钻进过程中岩粉不断地混入泥浆中,使泥浆中的固相含量不断增加。因此,需要将大于 20 m 的岩粉,从泥浆中除掉,这个过程称为泥浆的净化。

在现场管理中,泥浆净化程序是:泥浆自孔口流入沉淀池,经砂浆泵进入泥浆振动筛,进入第 1 个泥浆池,再经砂浆泵,进入旋流除砂器,净化后的泥浆进入第 2 个泥浆池。

1. 稀释泥浆

泥浆黏度越大悬浮作用越强,所含的砂子越不容易沉淀。所以,在保证孔壁稳定的情况下,尽可能地降低泥浆的黏度。

2. 循环槽及沉淀池除砂

根据钻孔的口径和深度以及地层的含砂情况,挖掘合理的、足够的循环槽和沉淀坑。循环水槽的坡度一般为 1% ~3%,钻进松散地层循环水槽的长度不小于 20 m,断面规格为 0.3 ×0.4(m);沉淀坑为两个,其中一个可小些,为清理大沉淀坑时作备用坑。大沉淀坑的体积一般为 10 ~20 m^3,深度为 1.5 m 左右为宜;小沉淀坑的体积一般为 5 m^3,深度为 1 m 左右为宜;水源坑两个,相互倒换使用。在基岩中钻进,大部分使用清水,岩粉少,易沉淀,循环系统可简单些。

3. DS-1 型泥浆净化系统

净化系统设备有:泥浆振动筛、旋流除砂器、泥砂泵,循环系统(如图 11-7 所示)。泥浆自孔口流入沉淀池,用泥砂泵扬入泥浆振动筛,泥浆过筛后进入第 1 个泥浆池贮存。再用泥砂泵扬入旋流除砂器,净化后的泥浆进入第 2 个泥浆池,贮存备用。

泥浆振动筛(如图 11-8 所示):筛网规格 900 mm ×600 mm,电动机功率 0.8 kW,振动往复次数 600 ~650 次/min,泥浆处理量不低于 30 m^3/h。

旋流除砂器(如图 11-9 所示):当携带岩粉的泥浆液流以高速从切线方向进入除砂器或除泥器的圆筒内,会产生很大的离心力和涡流,从而将泥浆中大于 20 mm 的岩粉颗粒清除掉。

泥砂泵:泥砂泵为闭式离心泵,电动机功率 0.8 kW、转速 2880 r/min,泥浆处理量不低于 30 m^3/h。

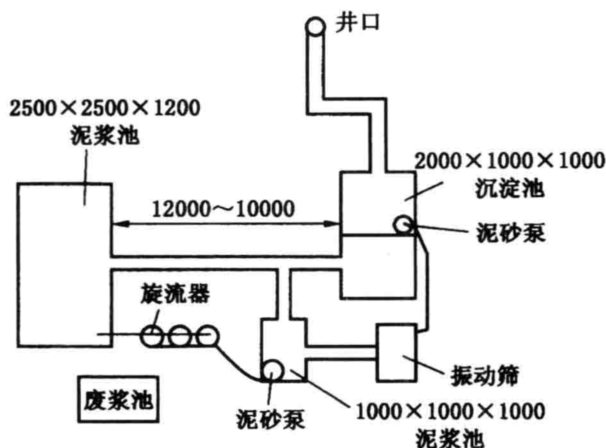
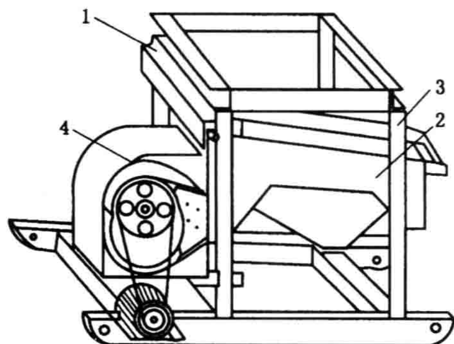
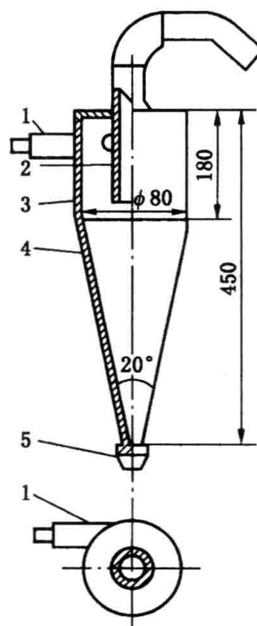


图 11-7　净化设备布置与流程



1－溢流槽;2－筛体;3－机架;4－自衡振动器

图 11-8　泥浆振动筛



1－进浆管;2－溢流管;3－圆筒体;4－锥形体;5－排砂

图 11-9　旋流除砂器

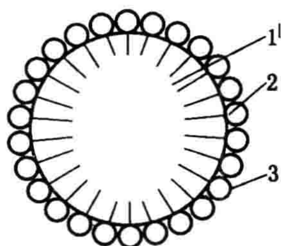
第三节　润滑冲洗液与润滑脂

在钻进冲洗液中,乳状液属于无固相冲洗液范畴,与其他无固相冲洗液相比,乳状液的基本原料为乳状油,乳状液在钻进过程中的作用主要表现在润滑钻具,对护壁堵漏作

用较少或没有。

乳状液适应于高转速和深孔钻进作业。在此类钻进中,由于转速高或钻进孔深大,钻具与孔壁摩擦大,消耗大部分钻进能量。乳状液能增加钻具与孔壁的润滑性,降低钻进过程中能量消耗。

乳状液是指乳化油以液珠形式分散在另一种和它不相溶的液体中而形成的分散体系,乳化油加进水中经过充分搅拌,乳化油就分散在水中,变成几微米大小的微小液滴。乳化油的加量一般是在100 L水中加入0.3~0.5 L。乳状液的类型有两种:水包油型(O/W)和油包水型(w/o),在小口径金刚石岩心钻进中用水包油型。在钻进时,微小液滴能在钻杆和孔壁间形成润滑膜,厚度大,强度高,对钻具、钻杆、孔壁有良好的润滑作用和防磨作用(如图11-10所示)。



1－基础油;2－表面活性剂;3－水

图11-10 乳状液微观结构示意图

在钻头进尺中,钻杆、钻具等与岩层紧密接触,会损耗一部分能量,减少了用于钻头进尺的能量;因此,降低摩擦损耗能提高钻头进尺,减轻钻具振动,而润滑钻具是减少摩擦阻力的有效途径。

一、润滑钻具的意义

润滑钻具的意义在于减阻、减振和减磨。

钻头以回转方式碎岩时,钻机回转器提供的能量大部分消耗在克服钻具回转摩擦上,只有小部分传递到钻头上用来碎岩。研究表明,能量的消耗与转速的平方、钻孔深度及摩擦系数成正比。

小口径金刚石岩心钻探,要依靠高转速来取得较高钻速。但提高转速会使振动加剧,噪声加大,工人工作环境恶劣,而且最终转速无法开得很高。只有采取润滑钻具的措施以减振,才能保证钻机在高转速下平稳钻进。另外,当使用润滑措施后,还可以有效地减轻钻具某些部位与孔壁摩擦产生的磨损,提高钻具的使用寿命。对于石油钻井等深井钻进来说,虽然转速不高,但因钻孔较深,钻具回转和提升功率消耗大,同样需要润滑钻具。

二、润滑钻具的方法

润滑钻具的方法有两种,使用润滑冲洗液和钻具涂抹润滑脂。使用润滑冲洗液,是一种简便有效的方法,被普遍采用。润滑冲洗液是通过向清水、泥浆或无固相冲洗液中添加润滑材料配成的,润滑材料有:乳化油、表面活性剂、二硫化钼及石墨等。在严重漏

水地层，为解决润滑问题，可采取钻具涂抹润滑脂的方法。

乳状液具有很强的润滑作用、防磨作用，原因之一为油珠本身形成的润滑膜，之二为乳化剂分子的亲油基形成的润滑膜。因此，乳化剂分子广泛应用于钻探作业中。

另外，由于乳化剂（表面活性剂）的特殊结构，使它在相界面上表现出特殊的吸附活性，除具有润湿，乳化作用外，还具有破乳，起泡，消泡，润滑，去污，防锈等功能。因此，乳化剂也可以单独应用于钻探作业。如：阴离子型表面活性剂润滑冲洗液，具有很强的润滑作用，应用广泛。而阳离子型表面活性剂，由于与冲洗液中带阴离子基团的有机物的混溶性不好，且产品类型少，价格高等原因，应用很少；两性型表面活性剂，具有很好的润滑，抗硬水等性能，但产品类型少，价格高，在钻探中较少；非离子型表面活性剂，大多数不能在钻杆与孔壁表面产生化学吸附，润滑性能很低，不能作为主要润滑剂。

三、阴离子型表面活性剂润滑冲洗液

（1）润滑机理　阴离子型表面活性剂能在钻杆和孔壁表面产生化学吸附，这种化学吸附是近距离形成的，不可逆的强吸附，化学吸附越牢固，润滑性越好。表面活性剂分子亲水基团与钻杆表面的铁离子结合，形成的盐不能溶于水，牢固吸附在钻杆表面。同样，亲水基团通过化学键直接键合在孔壁岩石表面。这样，钻杆与孔壁的表面都吸附亲水基团，相应的亲油基团远离钻杆与孔壁定向排列，在钻杆与孔壁之间形成了润滑膜，（如图11-11 所示）。因此，钻具在孔内回转时，钻杆与孔壁之间的固相直接摩擦，就变成了钻杆与孔壁隔有润滑膜的间接摩擦，有效地降低了摩擦系数，减小了回转阻力。

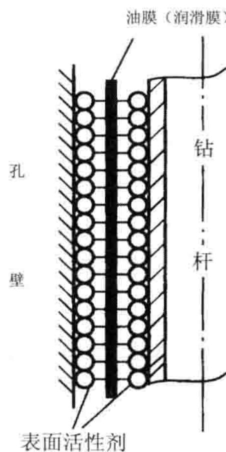


图 11-11　乳状液润滑机理

（2）钻进中常用的阴离子型表面活性剂　①皂化油脚 油脚是油脂工业的下脚料和"油底子"，多来自植物油厂。油脚与氢氧化钠反应后得到一种淡棕色液体，其有效成分是脂肪酸钠；②癸脂酸钠 癸脂是用蓖麻油制取癸二酸的副产品，癸脂中含有脂肪酸及其酯类化合物。经氢氧化钠皂化后，可得多种脂肪酸钠盐，称为癸脂酸钠；③妥尔油的皂化物 妥尔油是树木碱法造纸的副产品，其主要成分是脂肪酸和树脂酸。经氢氧化钠皂化后便可作为润滑剂使用；④太古油 蓖麻油经硫酸化处理，再加碱中和的产物，其中有效成分

为硫酸化油。

四、钻具润滑脂

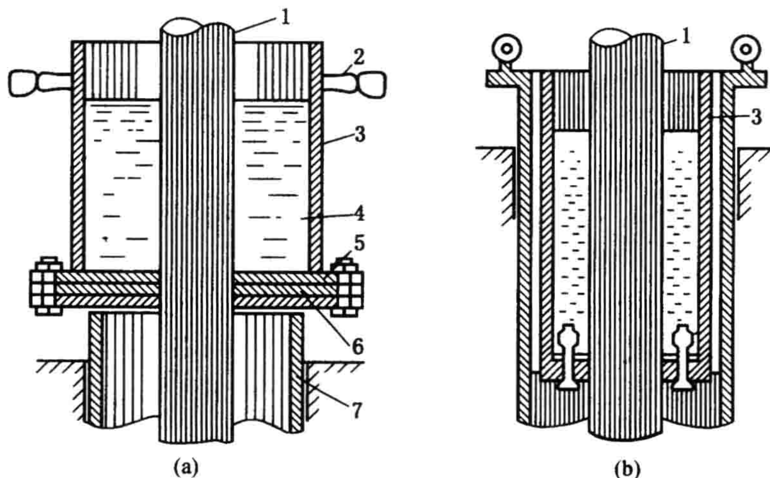
当钻孔严重漏水，但又必须对钻具进行润滑时，可采取钻具涂抹润滑脂来润滑钻具，同时用廉价冲洗液进行冲孔。

润滑脂的基本成分有：机油、松香、沥青和石蜡等。将它们加热到 130 ~ 140℃，溶匀，得到常温下为黏稠状的黑褐色液体（如表 11-3 所示）。

表 11-3 润滑脂的组成

类型	配方/%								适用冲洗液类型
	机油	松香	沥青	精制地蜡	石蜡	松香酸锌	萃取松香聚合物	纤维素硫酸酯	
KABC—1	70(65)	25	5(10)						工业水
KABC—2	70	25	3.5	1.5					工业水
KABC—40	60		10		5	25			泥浆
KABC—45	55	30	10		5				工业水乳状液
KABC—58	50		10		5		35		工业水乳状液
KABC—59	65		10		5			20	工业水乳状液

在钻杆上涂抹润滑脂的方法有两种：①在下钻具时，用拖布浸沾润滑脂涂抹钻具，这种方法费力，涂抹不匀，润滑脂的消耗大；②在下钻时，用孔口涂抹器涂抹（如图 11-12）。润滑脂涂抹层的厚度在 0.3 ~ 0.5 mm 为宜，涂抹一次可使用 3 ~ 4d。



a－筒在孔口夹持器上；b－筒在套管内

1－钻杆；2－手柄；3－筒管；4－润滑脂；5－法兰；6－胶垫；7－孔口管

图 11-12 孔口涂抹筒

第四节　其他冲洗液

其他冲洗液包括清水、无固相冲洗液和低密度流体冲洗液3部分,其中无固相冲洗液在钻探中使用广泛,占有重要地位。

一、清水

水是应用最早、最廉价的一种冲洗液,目前仍被广泛使用。适用于完整致密,不受水流冲刷,浸润,剥落的地层,如砂岩、灰岩、岩浆岩、变质岩等地层。不适合需要护壁堵漏作业的松散岩层、松软岩层和水溶性地层,如流砂层、风化岩层、破碎带、蚀变带,泥质岩层、泥质断层带,清水冲孔的特点有:

(1)水的黏度低,不适合岩盐、钾盐、芒硝、石膏等矿床,也不适合用于钻进高压油、气、水层。流经钻头表面时,易形成紊流,冲洗孔底钻屑的能力强,具有较强的冲孔能力;

(2)水的比热容大,为4.18 J/g·℃,比空气0.06 J/g·℃大得多。因此,对钻头的冷却作用好;

(3)清水冲孔时,因为不含固相颗粒,密度比泥浆小,孔内水柱对孔底地层的压力小,岩石容易破碎,清水冲孔的钻速较高;

(4)清水成分与泥浆相比,不具腐蚀性。因而,对钻具的磨蚀作用小;

(5)因为清水密度小,黏度小,故携带和悬浮钻屑的能力不如泥浆和空气泡沫;

(6)水对松散、松软和水溶性岩层有剥落、膨胀和溶解作用,易使孔壁坍塌;

(7)在钻井中,清水不能进行护壁,堵漏作业,更不能处理井喷等事故。

二、无固相冲洗液

无固相冲洗液也叫无黏土冲洗液,它不含黏土,是由水溶性高分子聚合物、无机盐配制而成的水溶液,故也称无固相聚合物冲洗液。无固相冲洗液密度为1.09 g/cm^3。为了提高冲洗液密度,防止井喷,可通过向冲洗液中加入加重剂(如$NaCl$、$CaCl_2$、$FeCl_3$,),冲洗液密度可提高到1.4 g/cm^3;若加入溴化钙和溴化锌,冲洗液密度还要更高。常使用泥浆相对密度秤测定无固相冲洗液的密度。

无固相冲洗液与泥浆相比,主要有以下优点:①钻速高。钻进时,钻屑随时被冲洗液中的高聚物分子絮凝而带走,消除了黏土和钻屑这两种固相对钻速的不利影响;②护壁性能强。高聚物分子在孔壁上能胶结岩石成膜,护壁效果好于泥浆;③有较强的预防冲洗液漏失能力和较好的润滑性;④无固相冲洗液属于假塑性流体,其流变特性有较大的可调范围,以适应不同钻孔工艺的需要。

无固相冲洗液主要用在小口径金刚石钻进,石油钻井高压喷射钻进,钻孔桩和地下连续墙施工,在复杂地层中钻进。

(一)无固相冲洗液胶结护壁机理

由于无固相冲洗液与泥浆的组成成分不同,两者在胶结护壁方面区别很大。实践表

明，聚合物胶结护壁的作用机理和作用效果，比泥浆明显优越，主要表现在以下几方面：

(1)泥浆护壁主要靠泥皮，黏土颗粒依靠孔内液柱静压力与地层侧压力之间的压差压滤而成。聚合物在孔壁形成吸附膜，是聚合物分子在岩石表面自发吸附的过程，与压差无关。

(2)黏土颗粒对孔壁的胶结，主要作用在孔壁表面，对孔壁深处岩土层的胶结作用小。聚合物不但在岩石表面产生胶结，而且可以随滤液深入到岩石孔隙内部产生胶结。因而，胶结范围大。

(3)泥浆中加入的聚合物是从保持泥浆稳定的需要选用的，通常用非晶态的和环状吸附构型的聚合物，吸附层不致密，且因黏土与高聚物作用会使泥浆增黏，要求用量小。因此，聚合物在孔壁上不能形成连续致密的吸附膜，胶结作用非常有限。无固相冲洗液使用聚合物，是根据胶结护壁的需要确定的，其类型不同于泥浆中常用的聚合物，品种为结晶态结构，平卧吸附构型的聚合物，吸附速度快，护壁效果好，且聚合物用量多少是以确保能在岩石表面形成聚合物吸附膜为标准，与泥浆中用量及使用目的完全不同。

(4)黏土颗粒似刚性微粒，与孔壁岩石之间的胶结为点接触，作用面积和相互作用力较小，易被冲刷下来。吸附到岩石表面的聚合物，是聚合物分子以多种作用力与岩石结合的，如共价键、憎水作用、氢键、静电力、范德华力等，每一个分子都有许多链节与岩石表面吸附。吸附很牢固，不易被冲刷下来。

(5)无固相冲洗液钻进泥页岩时，视孔壁情况加入一定量的钾盐，如 KCl，利用 K^+ 抑制泥页岩孔壁的水化膨胀，达到保护孔壁的目的。泥浆冲洗液难以做到。

通过上述比较，显明看出无固相冲洗液护壁的优越性，不难理解无固相冲洗液成为新一代冲洗液的原因。

(二)无固相冲洗液的类型

目前已经应用的无固相冲洗液主要有聚丙烯酰胺、水玻璃类、聚乙烯醇类、纤维素类、植物胶类、纤维素类和阳离子聚合物类等。

1. 聚丙烯酰胺类无固相冲洗液

常用的聚丙烯酰胺类无固相冲洗液构成，如表 11-4 所示。其中，钻进含黏土矿物的水敏性地层时加入 KCl，在高转速金刚石钻进时加入乳化油。

PHP 无固相冲洗液的性能：流性指数 $n=0.7\sim0.95$，稠度系数 $K=0.01\sim0.05$，表观黏度 $\eta A=4\sim8$ mPa·S，漏斗黏度为 18～25 Pa·S，浸泡砂样时间可达 24 h。

表 11-4 聚丙烯酰胺类无固相冲洗液配方

成分	PHP	$FeCl_3$ 或 $Al_2(SO_4)_3$	KCl	乳化油
加量	0.1%～0.3%	$(0\sim300)\times10^{-6}$	0.5%～3%	0.2%～0.5%

因 PHP 冲洗液主要成分为 PHP，故防塌性能不强，适用于遇水不会很快塌散的松散性、松软性、水敏性岩层，而且孔壁裸露时间不长的孔段中。

2. 水玻璃类无固相冲洗液

水玻璃俗名泡花碱，是一种无机聚合物，其聚合物为片状体，称为 SiO_2 胶团。水玻璃

常态为黏稠液体，有胶黏性，它可以与水以任意比例混溶，水玻璃呈强碱性。SiO_2 胶团表面带负电荷，其尺寸随着水玻璃中 SiO_2 的含量的增加而增大。

水玻璃中加入酸，如 HCl 或铵盐时，片状的 SiO_2 胶体会连接成网状结构，形成冻胶体，部分有机物，如醇类、醛类、苯酚、蛋白质等，也能使水玻璃凝聚冻胶体。冻胶体可以应用在钻孔堵漏中。

水玻璃类无固相冲洗液的特点：

(1)护壁性能　水玻璃类无固相冲洗液能使松散和松软的（如流砂、如黏土等）岩石表面层硬化，形成厚约 1～1.5 mm 的固结层，使原来很软的黏土表面明显地变硬，岩石被胶结得很牢固。实验显示，放入清水中浸泡，会久泡不散。除 SiO_2 凝胶的物理吸附胶结松散松软岩石外，还有化学吸附作用发生，即水玻璃溶液对硅酸盐类岩石表面的抽提胶结作用。硅酸钠溶液能够抽提出硅酸盐类物质表面上的硅进入溶液中，当水玻璃溶液充满硅酸盐岩石颗粒之间的空隙时，岩石表面的氧化硅被抽提下来，使溶液的 SiO_2 含量增加，并逐渐形成新的硬化玻璃质，该玻璃质与岩石表面间有化学键力作用。

(2)水玻璃类冲洗液可随时转换成堵漏浆液钻进　当孔内发生冲洗液漏失时，可在黏度较低的水玻璃类冲洗液中加入凝聚剂（如酸和铵盐类），使 SiO_2 胶团凝聚成冻胶体，冲洗液转换成堵漏浆液，在孔壁处封堵漏失层，实现不停钻地随钻堵漏。而在孔内，因有钻杆的回转搅动，加入凝聚剂后的冲洗液不能形成连续的冻胶，或者有冻胶形成但因其强度很低，只要钻杆转动便可使冻胶液化。

(3)冲洗液的 pH 值高　一般 pH 值为 11.5～12，钻具表面吸附 SiO_2 形成薄膜，对钻具有防锈作用。

(4)钻具回转的摩擦阻力大　由于在钻杆和孔壁表面形成了 SiO_2 硬质薄膜，SiO_2 薄膜表面呈负电性，使含阴离子乳化剂的乳状液难以在硬质薄膜上形成润滑膜，钻具回转的摩擦阻力加大。因此，该类冲洗液不适于高转速钻进。

常用的水玻璃类无固相冲洗液：

(1)煤碱液—水玻璃无固相冲洗液，由煤碱液与水玻璃构成，煤碱液由褐煤、碱、水配制，比例为：15∶ 1.5∶ 100。

(2)DWY—Ⅰ型多功能无固相冲洗液，由 PHP、水玻璃、硫酸铵或硝酸铵构成，用于凝聚堵漏，要加大硫酸铵或硝酸铵用量。

3. 聚乙烯醇类无固相冲洗液

对于孔壁极不稳定和岩（矿）心采取率很低的地层，使用聚乙烯醇类无固相冲洗液是最有效的。聚乙烯醇类无固相冲洗液以 PVA 为主要成分，种类较多，应用最早，效果较好的是 DWY－Ⅱ型无固相冲洗液，组成成分：PVA 为 0.5%～1.0%、PHP 为 0.05%～0.15%、交联剂－A 为（200～300）×10－6、交联剂－B 为 0.08%～0.15%。在黏土岩等水敏地层钻进时，还可加入 0.5%～3.0% 的 KCl，高转速钻进时可加入乳化油作润滑剂。

DWY－Ⅱ型无固相冲洗液的特点：

(1)对岩石有强胶结性能　在很低的黏度下，DWY—Ⅱ型无固相冲洗液具有很强的胶结岩石性能，见水即散的纯砂块样，放到该冲洗液中能久泡不散。实验显示：把砂样放

到冲洗液中浸泡1 s,立即取出放入清水中,同样久泡不散,说明该冲洗液在岩石表面的吸附速度快和胶结性能很强。对泥质岩样的浸泡试验,结果显示:比各类无固相冲洗液和低固相泥浆都有明显的优势。因此,使用DWY－Ⅱ型无固相冲洗液,解决了金刚石钻进中遇到的困难,在通过坍、掉、漏地层时,钻进顺利进行。在坍、漏层交替出现的钻孔中,使用DWY－Ⅱ型无固相冲洗液钻过坍塌层后,改用清水顶漏钻进,顺利钻进成孔。使用该冲洗液在极水敏的蚀变带钻进,岩心采取率由不足50%提高到95%以上。

(2)具有维持无固相体系的能力　冲洗液中的PVA分子在钻屑表面容易形成平卧吸附构型,聚合物吸附层薄,胶结性好,对易分散造浆的钻屑有很强的抑制作用。冲洗液中的大分子对钻屑产生絮凝,在地表循环系统中,短时间内加速钻屑的沉降,清除钻屑,保持冲洗液中极少的固相含量。

4. 野生植物胶类无固相冲洗液

用于无固相冲洗液的植物胶有:田菁胶、魔芋胶和SM胶等,是由上千个单糖环以糖甙键相连的天然聚合物,属聚糖类。每个糖环上的3个羟基为亲水基,故属非离子型聚合物。植物胶难溶于水,通常需要加碱,并经过较长一段时间搅拌后才能溶于水,但仍有一些没有完全溶解开的微小颗粒,且其水溶液容易发酵、酸败。目前常用的植物胶是田菁胶和SM胶。

田菁胶无固相冲洗液的组成:田菁粉为0.5%、NaOH为0.02%,交联剂为硼砂,其胃景根据冲洗液流变性的要求,经试验确定。

SM胶:单独使用SM胶时,加量大于1%时,有较好的护壁性能。若加入其他聚合物时,SM胶的用量可适当减少。

植物胶类无固相冲洗液的特点:

(1)植物胶冲洗液的护壁机理　聚糖分子的吸附作用形成吸附膜,胶结孔壁。部分未溶开的聚糖胶粒在岩石孔隙中淤塞胶结,具有较好的护壁性能。但要求冲洗液黏度要高,才能达到理想的护壁效果。

(2)植物胶冲洗液的降解自破性　在植物胶冲洗液中加入降解剂,聚糖分子经过一定时间后会断键降解,故又称其为自破胶。这一性质被用在水文探井和供水管井等工程,在钻进作业中,它起冲孔护壁作用。成井后,由降解剂控制聚糖分子膜在指定时间内降解,打开孔壁表层的过水孔隙。

(3)植物胶无固相冲洗液的抗温性较低,在使用中容易发酵降解。

5. 纤维素类无固相冲洗液

用于配制无固相冲洗液的纤维素,有钠羧甲基纤维素、羟乙基纤维素和含有聚阴离子纤维亲的聚合物。纤维素具有增黏护壁性能,可用单一的聚合物,也可与其他聚合物混合配制无固相冲洗液。应用较好的配方是:含聚阴离子纤维素的高黏度聚合物为0.3%,无机物为1%,该冲洗液用于平均井深2440 m,护壁效果好于泥浆。

6. 阳离子聚合物无固相冲洗液

石油钻井中,钻进地层多数为含有黏土矿物的泥岩和泥页岩,利用阳离子聚合物配

制无固相冲洗液,增强带负电荷的钻屑和孔壁岩石的吸附和胶结作用,效果明显,我国胜利油田、南海北部湾、大连和新疆等地已应用钻进几十口井,均取得了较好的效果。但该冲洗液的成本较高。常用种类有:聚胺甲基丙烯酰胺 CPAM、环氧丙基三甲基氯化氨、高改沥青。此外,还有田菁粉、羟乙基纤维素 HEC、阳离子淀粉、羟甲基淀粉、氯化钾、氯化钙等。

三、低密度流体冲洗液

低密度流体指密度小于 1.0 g/cm^3 的气体或气液混合物,它分为干空气、雾气、泡沫和充气液体 4 种类型。

(一)干空气

干空气冲孔适用于缺水、无水地区,水溶性岩层、水敏性地层、漏水地层和永冻层等低压油气钻探作业中。由于干空气密度小、携带岩屑能力低,应用范围受到限制。

干空气冲孔钻进,孔内气体对孔底岩石的压力很小,岩石容易破碎,机械钻速高,且钻孔越深,钻速提高越明显。干空气冲孔钻进不污染孔壁与岩心.对矿床影响小,有助于提高油气产量。

因为空气密度很低、比热容小,悬浮岩粉能力低、散热性不好,所以用干空气冲孔钻进,气流速度必须很高。一般空气冲孔的上返流速为 15 ~ 25 m/s,相应需要大风量高压力的压风机,冲孔能量消耗高。另外,上返空气携带出大量粉尘,对施工现场产生粉尘污染。

(二)雾气

雾气冲孔适用范围与于空气冲孔钻进稍有区别,不适应水敏性地层,但适应于小到中涌水量的地层钻进。

雾气也称为湿空气,水以 3 ~ 10 μm 微小水珠分散于空气中形成分散体系。雾气冲孔除具有干空气冲孔的优点外,还表现在湿空气排粉减轻了粉尘对现场的环境污染。雾气冲孔排除孔内涌水的措施有两种,一是加大风量,比干空气冲孔风量大 30% ~50%;二是在泵入孔内的水中加入少量表面活性剂。表面活性剂分子在小水珠表面吸附形成表面膜,提高水珠的稳定性,增加雾气中的水珠含量,提高排液能力。

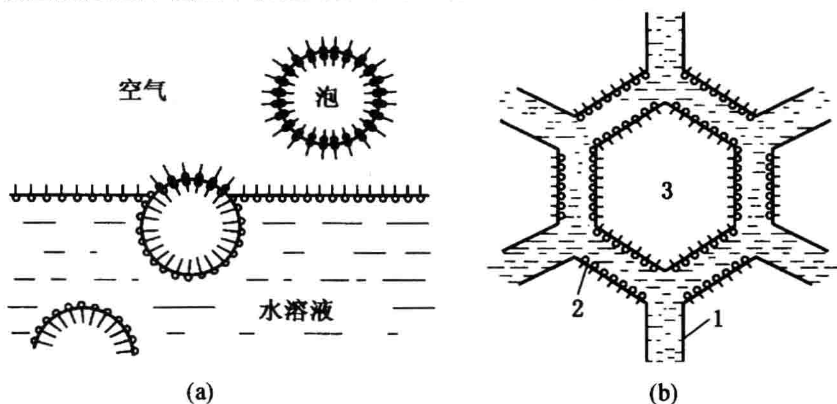
雾气冲孔的上返流速等于或稍大于干空气冲孔,属于高能耗冲孔体系。

(三)泡沫

泡沫冲孔适用于缺水、无水地区,有大量涌水层、漏失层、易坍塌层、低压油气层等地层的钻孔以及用干空气、雾气排粉困难的钻孔,泡沫冲孔还应用于大口径、深孔作业。它具有机械钻速高,携粉能力强,护壁效果较好,能润滑钻具,冲孔能耗低等优点,但泡沫价格高。

冲孔用泡沫是气相分散首液相中的分散体系,由空气、水、低固相冲洗液、无固相冲液、泡沫剂组成。在水溶液中加入泡沫剂后,向水溶液充气,即形成冲孔用泡沫。当液体中充气量小于 20: 1 时,气泡为圆珠形,如图 11-13(a)所示;当充气量大于 60: 1 时,泡沫紧密聚集,呈多面体形,泡沫的液膜很薄,液膜表面有表面活性剂分子定向吸附形成的

表面膜，表面膜是泡沫稳定不消泡的根本原因，如图 11-13(b)所示。



1 - 液体薄膜；2 - 表面活性剂形成的表面薄膜；3 - 空气

图 11-13　泡沫生成与存在形式

冲孔用泡沫应满足以下要求：

(1)泡沫发泡程度高，泡沫在孔内稳定，到地表后能自行消泡。泡沫发泡程度高、在孔内相当稳定性，才有足够能力排出孔内钻屑和水。当泡沫返出孔口后，为了便于消泡泡沫应处于极不稳定状态。

(2)适用于不同水质、温度等条件。

(3)成本低，使用方便，无毒、无污染。

1. 泡沫的主要性质

(1)发泡能力与稳定性　水溶液中加入泡沫剂后，充入空气产生泡沫。泡沫剂由发泡剂和稳定剂组成，不同的泡沫剂，其发泡能力不同。泡沫的稳定性指泡沫存在的持久性，即反映泡沫寿命的长短。测定泡沫剂发泡能力与稳定性的常用方法是罗斯一迈尔斯法(如图 11-14 所示)。200 mL 的泡沫剂溶液样品，由细孔中流出，流入高 900 mm、内径 2.9 mm的刻度管中，该管中盛有 50 mL 试验溶液。200 mL 试验样品刚流完时，从刻管上读出的泡沫高度即为该泡沫剂溶液的发泡能力，流完后 5 min 时的泡沫高度，即表示泡沫的稳定性。

影响泡沫稳定性的因素有两方面：一是表面活性剂形成表面膜的坚韧性，表面膜越坚韧，抵抗破裂的强度就大，抗透气性就好，泡沫的稳定性越好，由阴离子表面活性剂溶液形成的泡沫，其稳定性比非离子表面活性剂好；二是液体的黏度，液体黏度适当增加，能减缓液体因重力作用和压力不平衡所产生的流动，泡沫稳定性就好。若液体流动加强，会使液膜变薄，泡沫破裂。

(2)泡沫的密度　它与泡沫溶液密度、空气密度、泡沫的含气率和压力有关，一般泡沫的密度为 50 ~ 100 kg/m^3，当加入盐和固相时，密度可达到 1000 kg/m^3。

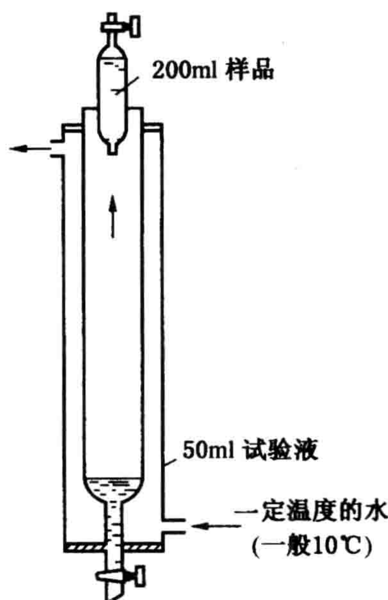


图 11-14　罗斯-迈尔斯泡沫测定仪

2. 泡沫剂

泡沫剂由发泡剂和稳泡剂组成,发泡程度高与稳定性好是对泡沫剂的基本要求,为满足这些要求,只用一种表面活性剂是不够的,而是用一种或几种表面活性剂组成发泡剂和泡沫稳定剂。

(1)发泡剂　发泡剂主要为合成的表面活性剂(参见第三节),常用的表面活性剂有:阴离子型表面活性剂:常用的有 3 类:①皂类。常用脂肪酸的钠盐,如十四烷酸钠盐、十六烷酸钠盐和油酸钠等。皂类发泡剂在酸性水和硬水中的发泡能力下降;②烷基硫酸钠。其中十二烷基硫酸钠应用广泛,在酸性条件下易水解,抗钙能力好于皂类;③十二烷基苯磺酸钠(ABS)。最为常用的发泡剂,在酸性条件下仍有很好的发泡能力,抗钙能力好于皂类。

非离子表面活性剂 其发泡能力没有阴离子表面活性剂好,但是,具有优良的抗硬水和盐水能力,常用于硬水和高矿化水钻井中。常用的有:①脂肪醇类;②聚氧乙烯烷基醇醚。

两性型表面活性剂 具有很好的发泡能力和抗硬水,抗盐能力,但价格较高;有机硅发泡剂:抗高温、泡沫稳定性好,但价格较高。

天然类发泡剂有松油、松节油、樟油等,多来自植物,其主要成分是萜类化合物。

(2)稳泡剂　用来提高泡沫表面膜坚韧性和改善液相黏度,其中提高泡沫表面膜坚韧性的稳定剂有直链脂肪醇和月桂酰二乙醇胺等,提高液相黏度的稳泡剂多为增黏聚合物如 PHP、PVA 等。适当提高泡沫溶液黏度,液体因黏度增加而不易流失,延缓了液膜因

变薄而破裂的时间，延长了泡沫的寿命。但是，液相黏度增加到一定程度后，对稳定泡沫有利，对发泡能力不利。

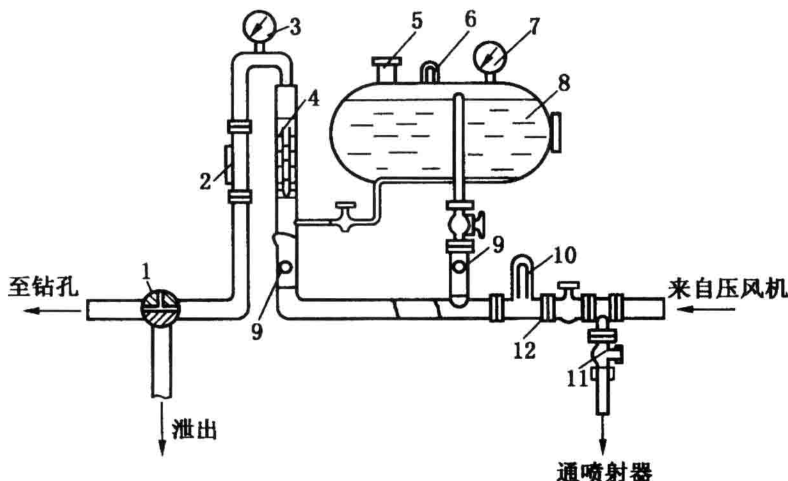
3. 消泡

泡沫从孔内返出地面后，有两种处置方法：一是堆积在施工现场附近，废弃不要；二是将返出的泡沫用物理方法消泡，消泡后的泡沫液继续使用。前者称为开式泡沫循环系统，后者称为闭式泡沫循环系统。目前我国的泡沫冲孔主要采用开式循环系统。

在施工现场附近处置废弃泡沫时，为了不污染环境，尤其在地下坑道内施工时，通常采用物理消泡和化学消泡方法，使泡沫尽快消失。化学消泡是加入消泡剂，消泡剂挤进泡沫表面膜内，使膜的局部强度降低而破裂。工业上用的消泡剂有低级醇、矿物油和硅酮等，其中硅酮的消泡作用最强；物理消泡是利用旋流离心法、喷射法和超声法等，使泡沫在离心力或高流速等作用下破裂。

4. 泡沫的灌注与循环系统

泡沫冲孔的灌注与循环系统，根据钻孔深度选择不同的组成方式。如图 11-15 所示为浅孔泡沫冲孔灌注系统，压气机的高压风管接入泡沫剂溶液罐，依靠风压将泡沫剂溶液压入泡沫发生器，由阀门调节从罐内压出的溶液量，调节气液比。图 11-16 是用水泵抽送泡沫剂溶液的灌注系统，泵送灌注系统可以钻进较深的钻孔。

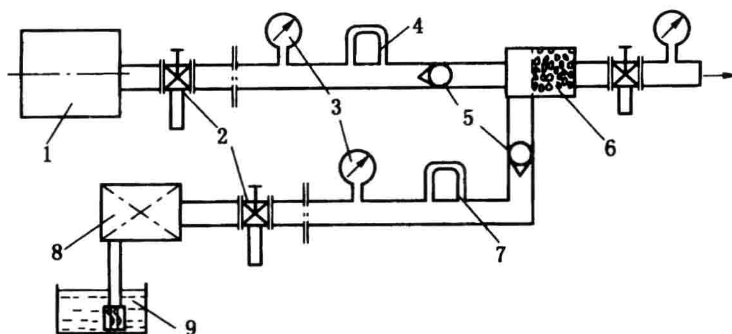


1－三通开关；2－泡沫气液比测量仪；3－压力表；4－泡沫发生器；5－加料口；6－安全阀；7－压力表；8－泡沫剂溶液罐；9－单向阀；10－空气流量计；11－调压阀；12－隔膜

图 11-15　浅孔泡沫冲孔灌注系统

5. 泡沫冲孔特点

(1)泡沫具有很强的携带岩粉能力。泡沫属于结构型流体，具有很强的承托携带岩屑能力，比水高 6 ~ 7 倍。当压入孔内泡沫的气液比较大时，泡沫能容纳较多的孔内水，并排出孔外。因此，泡沫比雾气有更大的排水能力，能够用于孔内涌水量大的钻孔；



1－压风机;2－调节阀;3－压力表;4－风量计;5－单向阀;
6－泡沫发生器;7－流量计;8－泡沫泵;9－泡沫液

图 11-16　泵送泡沫液的灌注系统

(2)机械钻速高。因泡沫密度低,排粉能力强,孔内干净,利于提高钻速;

(3)冲孔耗能低。因泡沫携带钻屑能力强,冲孔上返流速可以很低,一般在 0.5～1.5 m/s;

(4)泡沫有稳定孔壁作用。泡沫的外表层是发泡剂分子憎水基形成的膜,该憎水膜吸附于孔壁表面,有阻止水进入岩层的作用。泡沫液膜中含有聚合物,这些聚合物分子有胶结岩石的作用,对水敏性岩层和弱胶结性岩层的稳定作用较好;

(5)泡沫冲孔不需要处理钻孔漏失。孔内泡沫柱很轻,很少会出现漏失现象,即使遇到气体充填的大裂隙和大溶洞,泡沫携带岩屑填塞裂隙与溶洞,不影响正常冲孔排粉;

(6)泡沫中的表面活性剂对钻具有润滑作用;

(7)泡沫冲孔的主要缺点是:①泡沫的比热容较小,传热系数较低,对钻头的冷却性能很差;②泡沫冲孔不适用于压力较高的油气层,若要钻进中平衡地层压力,必须对泡沫进行加重处理,是不经济的;③不适用于深孔中静水位很高且涌水量较大的钻孔,泡沫从较深的孔内托举很长的水柱,需要很大的风压,且地层涌水量大,需要大风量才可能形成泡沫,受到压风机性能的限制,很难维持正常的泡沫冲孔。

四、充气液体

为了降低冲洗液的密度,需要向冲洗液中充气即为充气液体。向清水或泥浆或无固相冲洗液充气,降低孔内液柱压力,实现平衡钻进,减轻冲洗液的漏失或提高低压油气层的产油率。

要求充气量较大的充气液体,在水泵的送水管路上接一个气液混合器,水泵泵入的液体和压风机压送的空气在混合器内形成气液混合体,而后送入孔内。为了使充气液体返出孔口后,绝大部分气泡能自行逸出,不要加入表面活性剂。要求充气量很少的充气液体,气液比小于 0.43∶1 时。通过一次充气,且液体中加入表面活性剂,使气泡不易逸出,能循环使用。

充气液体的气液比小于 50∶1 时,充气液体返出孔口到沉淀池内后,绝大部分气体能够逸出。此时,气液比只有 0.43∶1,冲洗液密度上升。

第五节　水泥护壁堵漏

在护壁堵漏中，水泥护壁堵漏是最主要的方法，占有重要地位，广泛应用。它是以水泥为基础成分，用水调成水泥浆。为调节水泥浆液的工艺性能，可加有速凝剂、早强剂、减水剂等。不同的水泥品种及不同的外加剂，可以形成多种类型的水泥浆液，以满足不同孔深，不同温度条件下的护壁堵漏需要。另外，水泥浆液可与其他材料如高分子聚合物配制，形成不同性能的浆液，以满足特定的需求。如与脲醛树脂配制，形成的速凝混合物，可封堵大裂隙漏失地层。

水泥浆液的优点是：材料来源广，价格便宜，操作简便，浆液性能可调，无毒以及水泥结石强度高等，它是主要的堵漏浆液；缺点是：相对密度较大，微裂缝难以渗入，泵送压力大，易被地下水稀释等。

一、钻孔护壁堵漏常用水泥

常用于钻孔护壁堵漏的水泥有：硫铝酸盐地质勘探水泥、油井水泥、快硬硅酸盐水泥、矾土水泥、硅酸盐膨胀水泥等。在实际作业中，要认真分析孔壁失衡，冲洗液漏失的原因，掌握孔内裂隙、洞穴发育程度，摸清漏失层位置、范围、漏失量、孔内岩性特征等，选择合适的水泥种类进行护壁堵漏作业，才能达到预期效果。

1. 硫铝酸盐地质勘探水泥

硫铝酸盐地质勘探水泥简称地勘水泥，是根据地质勘探特殊要求专门研制的一种水泥。具有凝固快，微膨胀，初凝与终凝间隔短，早期强度高，耐硫酸盐侵蚀，胶结力强，温度敏感性强等特点。根据凝结时间和强度的不同，地勘水泥分为 H 型和 R 型两种。

2. 油井水泥

油井水泥是硅酸盐水泥中的特殊品种，适用于油井、气井等固井工程。此种水泥有两个品种，即冷井水泥和热井水泥。岩心钻探选用冷井水泥，其初凝时间在 3 ~ 7 h，终凝时间在初凝时间到达后不迟于 3 h。

3. 快硬硅酸盐水泥

快硬硅酸盐水泥是一种早期强度增进率较快的水硬性胶凝材料，初凝时间不早于 45 min，终凝时间不迟于 1 h。主要适用于早期强度高的工程，如紧急抢修，冬季施工等，也适用于钻孔护壁堵漏作业。此种水泥是以 3 d 强度为标号强度，标号有 300，400，500 三种。

4. 矾土水泥

以矾土和石灰石为主要原料煅烧，以弱碱性铝酸钙为主要成分的熟料磨细而成。该水泥水化时，反应很剧烈，生成的铝酸盐胶凝体能在短期内结晶，早期强度迅速增长，24 h 的强度可达其标号的 80% ~90%。以 3 d 强度为标号强度，标号有 300，400，500 三种，适用于早期强度高的工程，如紧急抢修，冬季施工，也适用于钻孔护壁堵漏作业。

5. 硅酸盐膨胀水泥

此种水泥是以适当成分的硅酸盐水泥熟料、膨胀剂和石膏按一定比例混合磨细成粉状而成。它的初凝不早于20 min，终凝不迟于10 h。其显著特点是在水中硬化时体积增大。它有400，500，600三个标号。适用于制造防水层，防水混凝土，加固结构物等，也适合钻孔护壁堵漏。

二、水泥浆液的灌注

在水泥浆液灌注前，应做好下列工作：

(1)准确掌握灌注孔段地层情况。检查漏失层的深度、厚度、漏失量，坍塌层的深度、厚度、坍塌程度，分析研究机台钻进时的情况，观察岩心，必要时用测漏仪或井径仪测定；

(2)根据灌浆的目的、要求、孔内情况，确定灌浆方法；

(3)选择与检查水泥质量。通过室内小型试验确定水泥浆的合理配方，决定可泵期和候凝时间；

(4)检查灌注设备与工具。采用水泵注入时，检查水泵主要工作部件是否正常，检查每个立柱及高压胶管的通水情况；用灌注器灌注时，检查灌注器工作状况是否正常；

(5)在泥浆冲洗钻进中，灌浆前应用清水洗孔，提高水泥浆与岩石的胶结强度；

(6)在钻孔中段灌注时，应在灌注孔段下部用木塞、草把等进行架桥，用少量石子或砂子投入孔内，将桥卡牢，填实，防止水泥浆液漏失；

(7)根据灌注孔段情况及确定的水泥浆液配方，计算出各种材料的用量，并备齐；

(8)根据采用的配浆方法备齐配浆所用的工具；

(9)做好组织工作，在统一指挥下，人员分工明确。

(一)水泥浆液用量计算

1. 水泥浆液的计算

水泥浆液用量与钻孔直径与灌注长度相关。在配制时应考虑灌注过程中浆液的损耗，如地面损耗、钻孔超径，渗透，漏失，孔内稀释等。因此，实际用量应比理论计算值多20% ~40%。计算公式如下：

$$V = K\frac{\pi}{4}D^2 h$$

式中V—水泥浆液体积；

K—附加系数(1.20 ~ 1.40)；

D—钻孔直径；

h—灌浆孔段长度。

2. 水泥及水用量的计算

水泥浆液由水泥和水组成。配制1 L水泥浆液时，水泥、水用量关系如下：

$$V_1 + V_2 = \frac{g}{\gamma_1} + \frac{mg}{\gamma_2} = 1$$

式中V_1 - 配制1 L水泥浆液需要干水泥的体积；

V_2 – 配制 1 L 水泥浆液需要水的体积；

g – 配制 1 L 水泥浆液需要干水泥的质量；

γ_1 – 水泥相对密度，一般为 3.05 ~ 3.20；

γ_2 – 水的相对密度；

m – 水灰比。

由上式不难推出，配制 1 L 水泥浆液需要干水泥的质量 $g=\frac{\gamma_1\times\gamma_2}{\gamma_2+m\gamma_1}$，用水量代 r 入公式即可得出。配制的水泥浆液相对密度 $\gamma_3=g+mg$。

3. 附加剂用量的计算

一般按加入的干水泥重量的百分数计算。

为方便起见，在实际工作中，可按孔径、水灰比计算出每袋水泥灌注长度（如表11-5 所示）。

表 11-5　每袋水泥灌注孔段长度

钻孔直径/mm	孔深 1 m 理论容积/L	不同水灰比时，每袋水泥灌注长度/m			
		0.35	0.4	0.45	0.5
150	17.67	1.86	2.03	2.13	2.30
130	13.27	2.50	2.71	2.90	3.06
110	9.50	3.50	3.78	4.06	4.25
91	6.50	5.12	5.53	5.94	6.25
75	4.42	7.54	8.13	3.68	9.19
66	3.43	9.95	10.47	11.28	11.90

（二）灌注方法

钻孔内灌注水泥浆液的方法有多种，常见的有：水泵灌注法、管柱灌注法、灌注器灌注法等。

1. 水泵灌注法

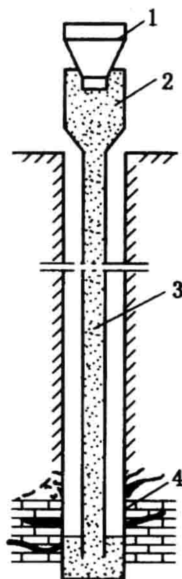
应用水泵和钻杆把水泥浆液泵送到灌注的孔段，操作方便，效率高，不需要特殊的灌浆工具设备。适应于漏失或坍塌孔段比较长，灌浆量较大的钻孔。水泥浆液要具有较好的流动性，适当的可泵期，泵送浆液顺利，浆液能渗透到岩石的裂隙孔穴中去。该法还可以进行高压灌浆，将浆液压入到较小孔隙和裂隙，提高堵漏和固结效果。操作过程如下：

钻具下入孔内，距灌浆孔段下部 0.3 ~ 0.5 m 时，停止下钻。开泵送水检查漏失情况，若通水状况良好，停止泵水，进行灌浆作业。将莲蓬头放入水泥浆槽中，开泵泵送水泥浆液，边送边搅拌浆液，并随时检查莲蓬是否堵塞。将水泥浆液一次全部灌注到孔内，灌注中途不必提动钻具。当水泥浆液全部泵送完后，应立即换浆，向水泥浆槽中加入压送液，如清水或泥浆。压送液将水泥浆从管线及钻杆中排出压送到孔内，压送液的数量应根据孔内情况、地面吸排水管线和钻杆容积计算。压送液过少时，不能将水泥浆液全

部排出;压送液过多时,压送液稀释水泥浆,使水泥浆液不能如期凝固或长期不凝固,影响水泥结石的强度。压送液泵完后,慢速提升钻具,当钻具下端提出水泥浆液液面 15 ~ 20 m 时,用适量清水清洗水泵和钻杆。当钻具全部提出钻孔后,封闭孔口,并彻底清洗水泵和钻杆以及灌浆用具。待水泥凝固并且有一定强度后,再进行透孔钻进。

2. 管柱灌注法(导管灌注法)

管柱灌注法适用于浅孔或孔内水位很低的漏失层(如图 11-17 所示)。用钻杆或小径套管作为管柱,管柱下到灌浆孔段下部时,用夹持工具将管柱固定在孔口。将储浆筒与管柱相接,水泥浆液经过漏斗、储浆筒、导管注入孔内,直到注满孔段。然后,将管柱提离水泥浆液面一定高度,用适量水冲洗管柱后,提出钻孔,密封孔口,待水泥浆液凝固。



1－漏斗;2－储浆筒;3－管柱;4－裂隙

图 11-17　管柱灌注法

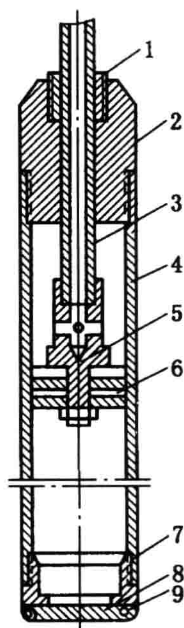
3. 灌注器灌注法

当钻孔较深,孔内水位较高,水灰比小,灌浆量不大且有填充物,可用灌注器送入法。灌注器的种类很多,但大部分是活塞式。注浆时,水泥浆装入盛浆筒后,用钻杆将灌注器下入孔内灌注孔段。开动水泵,高压水经钻杆进入灌注器推动活塞,将灌注器活阀打开,水泥浆被压出,进入钻孔和岩石裂隙。

(1)水压活塞式灌注器(如图 11-18 所示)　水压活塞灌注器滑动异径接头与盛浆筒连接。灌柱时,开动水泵,高压水经钻杆分水接头进入盛浆筒活塞上方,推动盛浆筒沿钻杆上移。当泵压超过一定值时,阀门上的销钉被剪断,阀门打开,水泥浆从盛浆筒中排出。如图 11-19 所示是另一种形式的水压活塞式灌注器。灌注时,先将下部玻璃板与顶钉装好,并按灌注水泥浆量加长盛浆筒,将水泥浆倒入盛浆筒,装上活塞和异径接头。灌注器与钻杆连接后送至孔内灌注孔段,使下部顶钉顶碎玻璃板后,开泵送水迫使活塞下

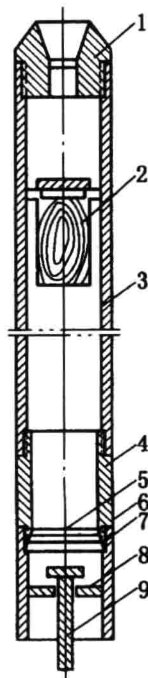
行将水泥浆压出。

(2)反脱式灌注器(如图 11-20 所示)　在盛浆筒内装入水泥浆,用钻杆下至灌浆孔段。开动钻机使其回转,由于离心力的作用,离心甩板向外张开与孔壁摩擦,将反丝接头反脱,悬挂在托架上,水泥浆从管内排出。注完后,将灌注器提离水泥浆液面一定高度,待 2 ~3 min后,开泵送水检查,如泵压正常,说明水泥浆已注入孔内;如蹩泵,则反丝接头未反脱,再将灌注器下至灌浆孔段,重新进行灌注操作。



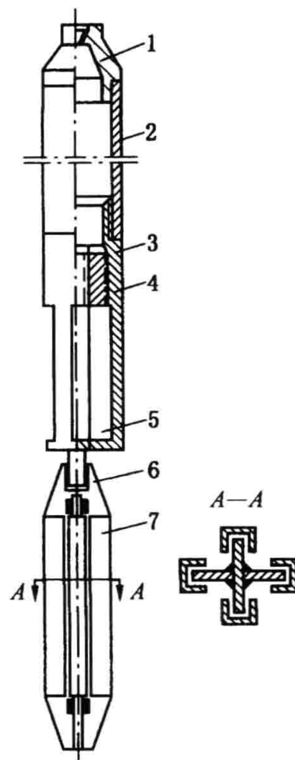
1 – 压盖;2 – 滑动接头;
3 – 钻杆;4 – 盛浆筒;
5 – 分水接头;6 – 活塞;
7 – 接头;8 – 阀门;
9 – 销钉

图 11-18　水压活塞式灌注器



1 – 异径接头;2 – 活塞;
3 – 盛浆筒;4 – 套管接头;
5 – 玻璃板;6 – 上胶皮垫;
7 – 下胶皮垫;8 – 导向座;
9 – 顶钉

图 11-19　水压活塞式灌注器



1 – 异径接头;2 – 盛浆筒;
3 – 正反丝接头;4 – 反丝接头;
5 – 托架;6 – 十字形鱼尾;
7 – 离心甩板

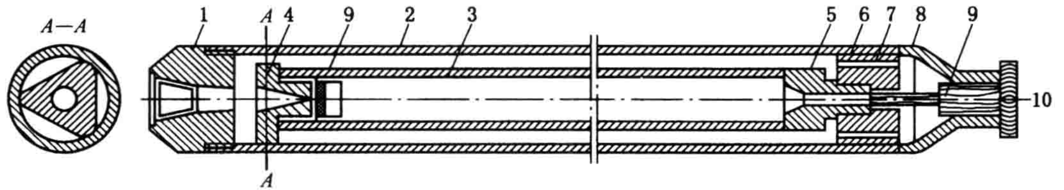
图 11-20　反脱式灌注器

4. 速效混合器灌注法

速效混合器灌注法用于速效混合液灌注。因在灌注段水泥浆液必须速凝。因此,在灌注孔段附近,水泥浆与速凝剂按一定比例混合,再注入裂隙或溶洞内凝结。常用的速效混合器种类是活塞式速效混合器。

活塞式速效混合器(如图 11-21 所示),外管上下两端分别与异径接头、分流接头连接,内管上端用定中帽定位,下端通过中异径接头与分流接头连接。分流接头上有六个直径 11.5 ram 的通孔,作为水泥浆液的通道。分流接头下端与下接头连接,二阶木塞将

下接头及可换垫圈的通孔堵塞,可换垫圈有不同中心孔径,用以调节水泥浆液与速凝剂的混合比例。



1 - 异径接头;2 - 外管;3 - 内管;4 - 定中帽;5 - 中异径接头;
6 - 分流接头;7 - 可换垫圈;8 - 下接头;9 - 活塞;10 - 二阶木塞

图 11-21　活塞式速效混合器

复习思考题

1. 简述钻孔漏失防治方法。
2. 叙述泥浆的配制。
3. 润滑钻具的方法有几种? 并简述。
4. 在水泥浆液灌注前,应做好那些工作?
5. 简述水泵灌注法的原理和步骤。

第十二章 钻 井 液

第一节 钻井液的功能及发展

一、钻井液的功能

钻井液又称冲洗液或洗井液，广义称循环介质或钻井流体，俗称泥浆，被喻为钻探的血液。

钻井液最初的目的是连续排除钻屑和冷却钻头。随着钻探业的发展，成分从清水、自然泥浆发展到化学处理的泥浆，功能从单纯冲洗发展到成为护孔或特殊成井的重要手段。由于低固相泥浆的发展和推广应用，钻井液的功能已超出护孔的范畴，成为提高钻井速度和质量的重要因素。实验室和现场试验表明，钻井液和水力参数对钻井速度的影响比其他任何可控变量（如钻压、转数）都大。钻井液性能不仅与护孔、堵漏有关，而且与地面功率是否最大限度地传至孔底密切相关。

钻井液的功能包括：①冲洗孔底；②携带、悬浮钻屑；③冷却钻头；④润滑钻具；⑤保护孔壁；⑥控制地层压力；⑦防止钻井液漏失；⑧传递动力；⑨保护生产层，保护岩矿心；⑩传递测井信息，判断地层；? 输送深部地下流体（气体、液体）至地表。

二、钻井液的发展

（一）我国钻井液发展进程

我国钻井液自20世纪70年代以后，取得显著进步，表现在：

①钻井液类型从水基到气态均获得显著进步。钻井液体系从自然泥浆一劣土高固相泥浆发展到低固相、无固相、低密度多种钻井液体系，并有特殊钻井液如保护矿层、生产层、矿心的钻井液。

②造浆黏土，从就地取土—低品级膨润土一优质钙膨润土发展到人工钠土及增效土。

③钻井液材料，从无机、现场配制、少数十几个品种，发展到高分子聚合物、有机、工厂化生产，类型品种齐全，做到剂量化、系列化、标准化，国产材料达260余种，已形成庞大的产业体系。

④发展多种堵漏方法和材料。

⑤泥浆仪器及设备更新换代，全面采用国际通行的API标准。研制生产大量新型泥

浆仪器并全面推广应用。研制多种泥浆净化设施及废浆处理设备。

⑥钻井液理论获很大进步，在钻井液流变学、井壁稳定理论、压力平衡钻井等方面的研究和应用获得显著进展，发挥了重要作用。

(二)国内外钻井液新技术及发展趋势

①渗透膜钻井液技术

这种技术在理论上认为，在水基钻井液中，通过加入一到几种成膜剂，可以使钻井液体系在泥页岩等类地层井壁表面形成较高质量的膜，这样可阻止钻井液滤液进入地层，从而在稳定井壁方面发挥类似油基钻井液的作用。

国外 M—I 钻井液公司对页岩的膜效率进行过比较系统的研究，并取得了一些成果，比如他们研究认为，在水基钻井液中可以形成三种类型的膜：Ⅰ型膜（水基钻井液成膜）、Ⅱ型膜（封堵材料成膜）和Ⅲ型膜（合成基和逆乳化钻井液成膜），其中Ⅱ型膜的膜效率最高，并认为，各种类型膜的渗透机理是完全不同的。就能形成膜的钻井液种类来讲有：合成基钻井液、硅酸盐钻井液、逆乳化钻钻井液和聚合醇类钻井液等。

目前，国外 CSIRO 和 Baroid 公司已联合开发研制了具有高膜效率的新型水基钻井液，在现场使用获得较好的效果。国内已研制出 BTM－1 水基钻井液成膜剂，具有良好的半透膜效能，抑制泥页岩水化膨胀、分散能力较硅酸盐、聚合物钻井液强。

②正电性钻井液技术

目前常用的钻井液处理剂大多数为负电性，少数由天然的或有机高分子改性的处理剂为中性，仅有极少数处理剂为正电性处理剂，我国现有的各种钻井液体系，基本上都属于阴离子体系，钻井液体系的 ζ 电位小于零。如果使钻井液体系的 ζ 电位大于零，这不仅有利于抑制地层黏土的水化膨胀和分散，提高钻井液的抗盐、抗污染能力，而且正电性钻井液体系的形成能解决“钻井稳定性”与“地层稳定性”，对提高产量具有重要意义。

在油气层方面，胜利油田与中石化石油勘探开发研究院、山东大学等单位合作承担的科研项目《正电性钻井液正电钻井液体系研究及在保护油气层中的应用》已经完成，并顺利通过中国石化科技开发部组织的项目鉴定，鉴定委员会认为总体技术水平居国际领先水平。

③纳米处理剂基础上的钻井液技术

通常将纳米尺寸范围定义为 1～100 nm，处于团簇（尺寸小于 1 nm 的原子聚集体）和亚微米级体系之间，其中纳米微粒是该体系的典型代表。由于纳米微粒尺寸小、比表面积大，表面原子数、表面能和表面张力随粒径的下降急剧增大，表现出四大效应：小尺寸效应、表面效应、量子尺寸效应和宏观量子隧道效应等特点，从而使纳米粒子出现了许多不同于常规粒子的新奇特性，展示了广阔的应用前景。

从着眼于如何改变钻井液体系中组分的物理化学性质来达到目的，有目的地从纳米技术的角度来对钻井液技术进行研究，探索纳米技术在钻井液完井液领域中的应用。由胜利石油管理局、中国石化石油勘探开发研究院和山东大学共同承担了中国石化科技开发部《纳米技术在钻井液完井液中的应用研究》项目，通过此项攻关研究，达到以下目标：(1)研究成功正电纳米钻井液处理剂；(2)研究成功一种新型纳米润滑剂；(3)形成一种

新型防塌保护油层钻井液体系和新型纳米润滑工艺技术。

目前,该项研究工作已取得一些阶段性成果,所研制的中试产品性能达到了要求。在研究出的新材料基础上形成的钻井液体系,经在多口井中进行试验,取得了明显的效果。

④深井、超深井钻井液技术

目前,油气勘探开发区域不断拓宽,逐渐由浅层向深层、由简单地层向复杂地层发展,由于储层埋藏相对较深、地层压力变化大、岩性复杂多变,钻探较为困难,时效低,成本高。深井、超深井钻井液技术存在的主要问题:

1)深井、超深井井下温度和压力高、地层复杂,温度可达 250℃ 以上,密度可达 2.6 g/cm^3 以上;

2)使用高密度钻井液钻进时,钻井液流动性差、泥饼厚、滤失量大、固相清除困难、钻井液性能难以维护;

3)随着井深的增加,地温越来越高,钻井液在井底高温条件下,处理剂降解加快,失水大幅度增加,造成钻井液黏度增加或固化,井壁不稳定等。

⑤盐膏层钻井液技术

钻遇超高压盐水层、复杂的盐膏层和膏泥岩,常规钻井液体系难以解决钻井液高固相含量、滤液高矿化度、性能不稳定、滤失量过高等技术难题,在钻井施工过程中经常发生盐膏层蠕变,井壁不稳定、易喷易漏、起下钻遇阻和易卡钻等井下复杂事故,同时由于地层盐溶解造成井径扩大,严重影响井身质量,给油气钻探带来极大的困难,严重阻碍着勘探进程。

⑥绿色环保钻井液技术

为了满足对环境保护越来越严格的要求,必须发展绿色环保钻井液技术,以满足在环境敏感地区的勘探开发需要。

⑦综合自控钻井液技术

此技术包括固控设备自控监视器、钻井液处理剂自动加料器、主要钻井液性能连续检测器。

(三)钻井液的技术进步对钻探工作发挥了重要作用

①有效地保护钻孔稳定,保证了钻探工作正常进行,减少了事故,提高了效率,降低了成本。

②保证金刚石钻探及绳索取心钻探的顺利推广,提高了生产效率。

③保证定向钻进、冲击回转钻进在复杂岩层的施工和安全钻进,并使孔内器具发挥最佳效率。

④提高了一些矿种的钻探质量和勘探效果。

⑤保证地热钻探的顺利进行。

第二节　钻井液胶体化学基础

一、分散体系

钻井流体为多相分散体系。其中水基钻井液一般是以水为分散介质（连续相），以黏土及化学处理剂为分散相（非连续相）的多相分散体系；乳状液是一种液体分散在另一种液体中；泡沫是气体分散在液体中。

固液分散体系按分散相颗粒大小分为：

①悬浮体，颗粒直径 >0.1μm（10～6 m）

②溶胶（胶体），颗粒直径 0.1μm～1mμm（10^{-6}～10^{-9} m）

③溶液，分散相为分子及离子，颗粒直径 <1mμm（10^{-9} m）

二、表面能和表面张力

分散体系中“相”表面的分子比“相”内部的分子具有额外势能，称为表面能。在定温下，表面能有自发减小的倾向。

在定温下使液体（或固体）表面增加 1 cm^2 所需的功，即单位面积的表面能，称为比面能。比面能的单位是 erg/cm^2 或 dyn/cm^2。

液体的表面张力即为液体在空气界面处的比面能。

物体的分散度可用比表面说明。比表面即单位质量的物体面积（m^2/g）。分散度越高，比表面越大。黏土分散在水中的比表面：高岭石 72 m^2/g，伊利石 200 m^2/g，蒙脱石 757 m^2/g。

三、吸附

物质在两相界面自动浓集的现象称为吸附，吸附的逆过程称为解吸或脱附。吸附现象在钻井液中是经常发生的。

（一）物理吸附

由分子引力（范德华力）引起的吸附为物理吸附。物理吸附没有选择性，但作用范围大，可以多分子层吸附。产生物理吸附的原因是固体表面分子具有表面能，分散度越高，比表面越大，则吸附越明显。蒙脱石比高岭石、伊利石比表面大，有利于处理剂的吸附。

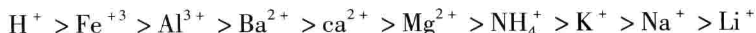
（二）化学吸附

由化学键力产生的吸附为化学吸附。化学吸附有选择性，吸附强度大，但作用范围小，只能单分子吸附。如有机处理剂（阴离子型）吸附在黏土面上，为化学吸附。

（三）离子交换吸附

离子交换吸附是一种离子被吸附的同时，顶替出相同电荷的另一种离子的过程。如黏土形成过程中发生晶格取代而带负电荷，有等量阳离子吸附在黏土表面，吸附的阳离子可以和溶液中的另一种阳离子相交换。

各种离子交换能力不同。黏土中常见的阳离子交换能力从强至弱为：



$H^{+} > Fe^{+3} > Al^{3+} > Ba^{2+} > ca^{2+} > Mg^{2+} > NH_4^{+} > K^{+} > Na^{+} > Li^{+}$

（四）黏土阳离子交换容量

指 pH = 7 时黏土可能交换或吸附的阳离子总量，以毫克当量/100 克土（m. e/100 g）表示。蒙脱石 70 ~ 130，伊利石 10 ~ 40，高岭石 3 ~ 15。

四、扩散双电层

在碱性溶液里，吸附在黏土颗粒表面的阳离子（Na^{+}，K^{+}，Ca^{2+}，Mg^{2+}，Li^{+}等）向溶液内部扩散，使黏土颗粒表面带负电荷，这些负电荷称定势离子，解离到溶液中的阳离子称反荷离子。定势离子周围只吸引一部分反荷离子与之一起运动，称为吸附层；另一部分反荷离子不随定势离子一起运动，扩散分布在溶液中，称为扩散层。吸附层和扩散层之间的界面即做相对运动时的分界面称滑动面（如图 12-1 所示）。定势离子的电位称定势电位，或总电位 ψ；从滑动面至均匀液相内的电位差称电动电位 ξ。电动电位 ξ 表明吸附层内定势离子与反荷离子电荷之差。ξ 电位大，则颗粒之间的排斥力大，不易聚结，保持稳定的分散状态。钙膨润土泥浆 ξ 电位约为 －20 mV，而钠膨润土泥浆约为 －50 mV。

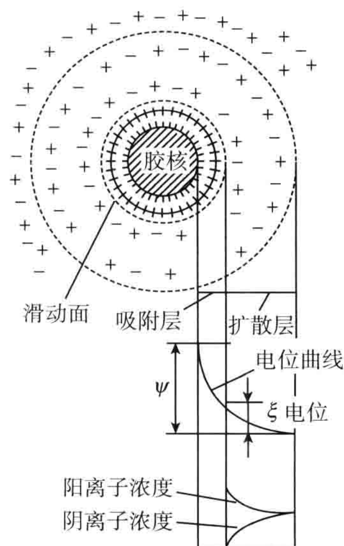


图 12-1　双电层示意图

五、黏土的水化

（一）黏土中的水分

黏土矿物中的水分按存在状态有三种类型：

①结晶水（化学结合水）。为晶体构造的一部分。温度 300℃以上才能放出。

②吸附水（束缚水）。由分子间力和静电引力吸附在黏土表面成为水化膜的水。随黏土颗粒一起运动。

③自由水。存在于黏土孔穴中的水。可以自由运动。

黏土水化是指黏土颗粒表面吸附水分子形成水化膜,黏土晶格层面间距增大,产生膨胀以及分散的过程。黏土水化对黏土造浆及泥页岩地层稳定有重大影响。

(二)水化的原因

①表面水化(晶格膨胀)。黏土晶体表面能的作用使水分子吸附,引起表面水化。

②渗透水化。晶层之间吸附的阳离子浓度大于溶液内部的浓度,产生渗透压,引起水分子向层面扩散而增加晶层间距。晶格膨胀体积增大约 1 倍,而渗透膨胀可增大 20 ~ 25 倍。

③毛细水化。在毛细作用下,水分进入黏土层理、微裂隙,引起黏土水化。

(三)影响水化的因素

①黏土矿物种类和特性。

②交换性阳离子种类。

③水溶液中电解质浓度和有机处理剂含量。

六、稳定和聚结

(一)稳定性的类型

多相分散体系的稳定是指能长期保持其分散状态,各微粒处于均匀悬浮状态而不破坏的特性。有两种稳定性:

①沉降稳定性。指分散相颗粒在重力作用下是否容易下沉的性质。颗粒沉降决定于重力和下降阻力的关系。影响因素是:分散相颗粒大小(分散度)、分散相和分散介质的密度差及分散介质的黏度等。

②聚结稳定性。指分散相颗粒是否容易自动降低分散度,相互黏结变大的性质。与界面的比面能有关,颗粒间分子范德华引力及静电斥力影响聚结稳定性。

分散体系失去聚结稳定性,胶粒互相黏结而变大的过程称聚结作用。聚结的结果是造成沉降(即破坏沉降稳定性)或引起絮凝,形成凝胶。

(二)钻井液分散体系稳定的决定因素

①黏土颗粒的扩散运动。颗粒比表面越大,扩散作用越大。

②双电层 ξ 电位的大小。ξ 电位越大,体系越稳定。

③颗粒表面的结构性保护层(有机处理剂的水化基团)。

④溶剂化层水化膜的阻力作用。

七、钻井液的滤失

钻井液中的自由水在压差作用下向孔壁岩层的孔隙或裂隙中渗透,而固相颗粒沉积附着在孔壁上形成泥皮(滤饼)。随着滤饼不断增厚,渗透率下降,滤失速度下降,到达恒定值或完全停止。这种过程称钻井液的滤失性或失水性。渗透出的液体称为滤液,滤液进入孔壁岩层,造成泥页岩水化及劈开裂隙,引起孔壁膨胀坍塌。形成的滤饼有阻止滤液继续渗透、保护孔壁的作用。钻井液固体分散性好,固相细颗粒多、粗颗粒少,则滤饼薄而致密,强度高,滤失小;钻井液的胶体性能好,自由水少,则滤失小。

钻进过程中,滤饼在钻井液循环时不断受冲刷,又不断形成,直至达到动平衡,这种

滤失称动滤失，而静止时即不受冲刷的滤失为静滤失。

现在通常测量0.7 MPa压差、定温（20～25℃）条件下30 min的滤失量（过滤面积$A=45.80\ cm^2$）作为钻井液滤失性指标，称API滤失量。还可以测量高温高压下的滤失量。

第三节　钻井液流变学

一、流变学

流变学是研究物体（包括液体、固体）在外力作用下变形和流动的科学。它的应用领域很广，涉及各种材料学科、化学工业、生命科学（血液、医药）以及地球科学（隧道变形、地质灾害）等。

钻井液流变学是研究钻井液流动和变形的科学，是流变学理论和方法在钻探工艺中的应用，是流变学的一个分支。

钻井液是钻探过程中必不可少的工作流体，钻井液在孔内的流动规律，可以通过流变学方法来研究与描述。研究钻井液流变学对钻探工作有重要意义，关系到钻井中一系列问题。例如：①携带岩屑，净化钻孔；②孔壁冲蚀与稳定；③控制环形空间动压，维持钻孔内压力平衡；④水力计算，有效传递水力功率至孔底，使孔底水力机械发挥最大效能；⑤钻井液材料、体系的评价、处理等。

二、流变方程

钻井液流变性是指在外力作用下钻井液结构和流动的特性。根据流变性的不同，流体分为牛顿流体和非牛顿流体。钻井液绝大部分为非牛顿流体。

表达流体流动过程中剪切应力（剪切力）与剪切速率（剪率或速度梯度）关系的数学公式称为流变模式或流变方程。

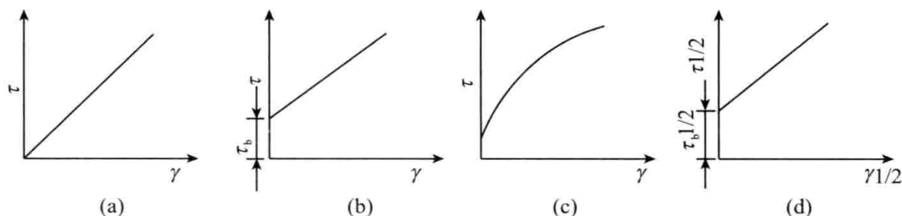


图12-2　流变曲线

钻井液中常用的流变模式有四种，1. 牛顿模式；2. 宾汉模式；3. 幂律模式；4. 卡森模式。

牛顿模式不随剪率而变化如图12-2（a）所示。

宾汉模式比较简便，在钻井液中广泛使用，作为现场钻井液处理的性能指标及钻井液材料标准。但存在严重缺陷，如只在黏度计最优测区范围（200～600 r/min，340～1 022 s－1）准确，低剪区及高剪区误差很大，均偏高如图12-2（b）所示。

幂律模式要采用两条曲线来描述钻井液性能，误差很大，低剪区及高剪区偏低如图12-2（c）所示。

卡森模式为一经验方程，原用于颜料、油墨、涂料等行业。美国有人初步探索可用于钻井液。地矿部探矿工程研究所进行了大量工作，发展了这一模式如图12-3-1（c）。用各种类型钻井液、各种黏度计对比测试证明，无论低剪率或极高剪率都有极好的准确性；推导了以卡森流变参数为依据的一系列流动计算公式，使之成为能够实用的模式。

三、流变参数

（一）流变参数的测量

通常采用范氏六速旋转黏度计测量。

（二）流变参数的意义

1. 塑性黏度

塑性黏度是钻井液内摩擦性质的量度，由固相颗粒之间、液相及固一液之间的内摩擦造成。卡森黏度是极限高剪黏度，即剪率极高、结构完全破坏时的黏度；而宾汉塑性黏度实际上还受结构力的影响，其值偏高。

2. 动切力

动切力是在动态下结构力的量度，决定于钻井液成分的极性或电化学性质。卡森动切力不受内摩擦的影响，而宾汉动切力则实际上受内摩擦的影响，其值偏高，与实测曲线相差较大。

3. 视黏度（表观黏度）

牛顿流体的黏度（动力黏度，牛顿黏度）为剪切力与剪率之比 $\eta N=\tau/\gamma$，ηN 不随 γ 变化。非牛顿流体，剪切力与剪率之比称为视黏度或表观黏度（ηa），又称有效黏度（ηe），$\eta=\tau/\gamma$。表观黏度随剪率而变。通常剪率越大，表观黏度越小，这种性质称剪切稀释，这种流体称剪切稀释流体（如图12-3所示）。还有剪切增稠流体，即表观黏度随剪率增大而增大。表观黏度包含着内摩擦及结构力。

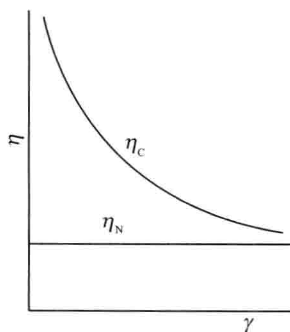


图12-3　黏度与剪率关系

为了说明不同流体黏度的相对大小，API标准规定将范氏黏度计600 r/min时的黏度作为视黏度，习惯上以 AV_{600} 或 A_V 表示。

4. 静切力

钻井液在静止条件下的结构强度。有静止 10 s 及 10 min 两种条件下测量的值，分别称为初切及终切 1 G，10 G。

四、流动效应准数

为较全面评价和规范井内复杂现象与钻井液流变性的相关关系，探矿工程研究所根据卡森模式的研究和现场服务的经验，提出环空流动效应的三个相似准数。

（一）井径异常与冲蚀准数 *EC*

在不稳定地层，钻井液的流动可能导致井径的扩大和缩小。紊流流动时对井壁冲蚀，可能导致井径扩大；层流流动时固相沉积井壁或泥页岩膨胀，可能导致井径缩小。雷诺数达临界值时的井径称临界井径。根据临界井径与钻头直径的差别，可以随钻估计井壁是受冲蚀还是缩小，可以指导流量和流变参数的设计与调整。用冲蚀准数 EC 评价：

$$EC = D_c/D_b - 1 \tag{12-1}$$

式中D_c—临界井径；

D_b—钻头直径。

（二）岩屑浓度异常与岩屑流送准数 LC

岩屑不能及时从井内输送上来，会造成钻井液中岩屑浓度过量升高，造成钻速下降、卡钻、静压失控等。钻井液携屑效果与流速及流变性能有关，可用岩屑流送准数（*LC*）评价：

$$LC = 1 - V_s/V_m \tag{12-2}$$

式中V_s—岩屑滑沉速度；

V_m—钻井液环空流速。

（三）环空动压异常与动压准数 PC

环空压力相对稳定，是维持井壁稳定，防止井塌、井喷、井漏的前提。环空压力包括静压和动压。动压包括流动压力和波动压力，与钻井液流变性及流量有关。动压异常导致井内复杂问题的出现，反映环空动压与静压的相对大小，用动压准数表达：

$$PC = Ea/\rho \tag{12-3}$$

式中E_a—环空动压力当量密度（kg/m^3）；

ρ—钻井液密度（kg/m^3）。

流态判断、动压计算、岩屑滑沉计算。

用三个准数可以将钻井液流变性与钻井中的复杂情况密切联系起来，将对钻井液流变性的要求，从定性关系变为定量关系。可以用三个准数设计和指导调整钻井液的流量和流变参数。

第四节　钻井液类型

一、钻井液类型

钻井液(循环介质)的类型如图 12-4 所示,勘探钻进主要用水基钻井液及气体循环介质,很少用油基钻井液。

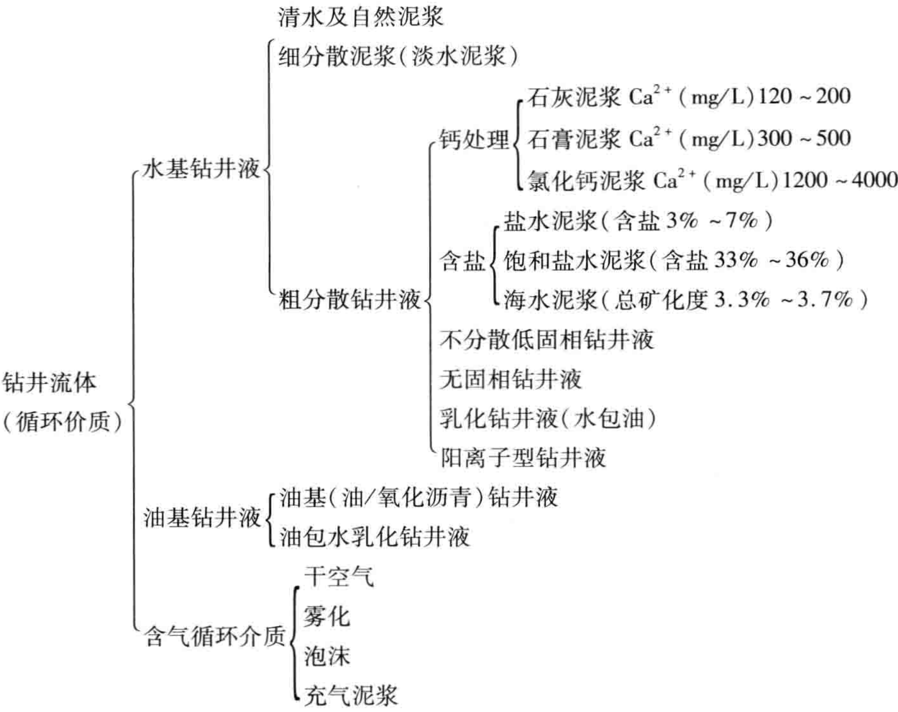


图 12-4　钻井液(循环介质)类型

二、清水及润滑钻井液

在完整地层用清水钻进。

金刚石钻进转速高、摩阻大,要求采用润滑冲洗液。即在清水中加入润滑剂。润滑剂通常为表面活性剂加基础油,加入冲洗液中成为水包油型乳化液,在钻杆与岩石表面之间,形成油膜,减少摩擦。

阴离子型表面活性剂润滑效果好,但易受地层污染而破乳。非离子型能防止破乳,但润滑效果较差。在钻进含钙、镁地层常采用复合型。

三、粗分散泥浆

最早使用的泥浆为细分散泥浆。这种泥浆只用分散剂如纯碱、丹宁、烤胶等,力求造浆黏土在水中高度分散。

粗分散钻井液是在泥浆中加入钙、钠等无机盐絮凝剂,使泥浆中黏土颗粒变粗,同时

加入有机处理剂进行分散和护胶,使成为适度絮凝的粗分散体系。这类泥浆主要是利用其矿化度高,有过量 ca^{2+}、Na^{+} 等离子,有效抑制泥页岩水化和抗地层盐类侵污,具有高的抑制性,有利于防塌。

(一)钙处理泥浆

最常用的是石灰泥浆,如安徽 325 队用 HPAN—NaT—石灰泥浆,成功进行煤田钻探,覆盖层厚达 300 ~ 425m。

20 世纪 80 年代开始用过量石灰及新型聚合物处理剂,可使滤液中 ca^{2+} 浓度达400 ~ 1200 mg/L(相当于氯化钙泥浆),可以更好地抑制泥页岩水化。

(二)含盐钻井液

含盐钻井液抗地层盐侵、黏土侵的能力强,抑制泥页岩水化膨胀、防塌效果好,用于钻进含盐地层或不稳定的泥页岩。海上或海滨钻探可用海水钻井液。盐矿勘探宜用饱和盐水钻井液。

青海省地矿局在青海柴达木盐湖勘探中,用两种饱和盐水钻井液,成功地钻进高压(地层压力当量密度最高 1.89 kg/L)过饱和卤水矿及固体岩盐矿。

山东省地矿局勘探钾盐,深孔钻进,采用饱和盐水混油乳化泥浆,成功钻进盐矿层,金刚石绳索取心完成七个深孔,平均孔深 2 082 m,最大孔深 2 505 m,岩矿心采取率 85% 以上。

四、不分散低固相钻井液

这是 20 世纪 70 年代起在全国全面推广的新型钻井液。它以具有选择性絮凝作用的高分子聚合物——部分水解聚丙烯酰胺(PHP 或 HPAM)为主要处理剂,在泥浆中保留优质造浆黏土,而絮凝劣质黏土及钻屑,使钻屑及劣土不分散,而保持钻井液的低固相含量。

这种钻井液固相含量低,钻速高;流变性、剪切稀释性好,循环压降低,润滑减阻;防塌性好,孔内清洁,事故少。因其钻井效率高,成本低,迅速在全国石油、地矿、煤炭、冶金、核工业、化工、建材等部门全面推广。

不分散低固相钻井液的主要性能指标有:①固相(体积)含量在 4% 以下;②钻井液密度在 1.06 ~ 1.08 kg/L 以下;③固相中钻屑和膨润土含量的比不超过 2∶1;④泥浆动切力(Pa)与塑性黏度(Pa · s)之比 500 s^{-1} 以下。

不分散低固相钻井液已发展出多种类型,如:PHP—HPAN(聚丙烯酰胺一聚丙烯腈)双聚泥浆,PAM—KCL 泥浆,PHP—KHm 泥浆等。

五、无固相钻井液

无固相钻井液或称无黏土钻井液,是在清水中不加黏土仅加处理剂,具有一定性能的钻井液。这种钻井液有一定的黏度,具有携带和悬浮钻屑能力;钻屑能在地面全部分离掉,始终保持入孔钻井液无固相;能在孔壁形成吸附膜,具有一定的护壁防塌能力;有较好的润滑减阻作用。因而达到甚至超过清水的高钻速和钻头进尺,对生产层无污染和损害。

无固相钻井液从 20 世纪 70 年代后期起,有很大发展,有很多类型,主要有:

1. 合成高聚物溶液

合成高聚物溶液如聚丙烯酰胺(部分水解 PHP,非水解 PAM),浓度从 10 ~ 50 mg/L 至 500 ~ 800 mg/L不等,还可加入水解聚丙烯腈(HPAN)等;聚乙烯醇 PVA 亦可。

2. 天然植物胶溶液

天然植物胶溶液如魔芋、田菁、DW 胶等,为非离子型天然聚合物,具有增黏、护壁、润滑减阻作用,有较好的抗盐能力,并有强的絮凝能力。无毒,有胶液自破特性,特别适合于水文水井钻进。

3. 生物聚合物(XC)溶液

生物聚合物(XC)溶液具有极好的流变特性,悬浮携带钻屑能力强,抗盐可达饱和。

4. 水玻璃一聚丙烯酰胺溶液

水玻璃(硅酸钠)有较高的黏度,在孔壁能形成胶膜,对地层有抑制作用。如安徽水东膨润土矿,用水玻璃 5% ~6% 、PHP200 ~300 mg/L,成功钻进,取出完整无污染的黏土矿心。

六、充气泥浆(泡沫泥浆)

用低固相优质泥浆为本体,并按地层需要加入若干处理剂,然后加入发泡剂,用喷射式气液混合器或搅拌器,充气发泡,成为密度 <1 kg/L(0.7 ~0.9 kg/L)由气、液、固三相组成的低密度钻井液。四川省地矿局推广应用,钻进约 6 万 m。取得防漏、减漏、防塌,减少事故,提高时效、台效,提高岩矿心采取率和品质等优良效果。

七、正电钻井液

这是 20 世纪 80 年代后期开始试验的新型钻井液体系。水基钻井液历来是负电分散体系,黏土带负电荷,处理剂大多是阴离子型的。但是使泥浆中黏土颗粒分散的因素,也会导致地层中黏土矿物的水化膨胀,泥浆稳定性与地层稳定性之间互相矛盾。解决的根本办法是将钻井液转变为正电体系。

已有阳离子处理剂:如阳离子聚丙烯酰胺(CPAM)、阳离子淀粉、阳离子表面活性剂、混合金属层状氢氧化物(MMH)等。国内已研制出产品。

试验的正电钻井液体系有:阳离子聚合物无固相钻井液;MMH 无固相钻井液;阳离子聚合物泥浆(阳离子作泥浆处理剂,仍属负电体系)。主要在石油钻井中试验,煤田钻探中也进行了试验。

第五节 钻井液材料

一、类别

我国钻井液材料从 20 世纪 70 年代以后获得巨大发展。产品品种及质量紧跟世界先进水平,从剖析、仿制、合成到研制开发我国自己的处理剂。

我国钻井液材料分为 16 大类 260 种,名称及品种的发展(1978 ~1993 年)如表12-1 所示。

表 12-1　我国钻井液材料类别及品种

类别		土粉	加重剂	降滤失	增黏剂	降黏剂	*页岩抑制剂	润滑剂	絮凝剂	堵漏剂	消泡剂	乳化剂	解卡剂	缓蚀剂	杀菌剂	起泡剂	其他	总计
品种	1978	1	2	6	1	7	4	2	1	3	4	6			1		11	49
	1993	9	4	49	9	21	67	41	2	21	15	6	3	1	1	2	9	260

* 又称防塌剂

二、造浆黏土

黏土是泥浆最基本的材料。优质造浆土为增黏剂,并可作降滤失剂使用。

(一)膨润土

我国钠膨润土资源少。20 世纪 70 年代以前均用低造浆率($1\sim3\ m^3/t$)的普通土,甚至就地取土。20 世纪 80 年代钻探工作者发现了符合欧洲 OCMA(石油公司材料协会)标准的山东高阳及安丘两处钙膨润土,造浆率达 15 m^3/t 以上。

钙膨润土钠化有很大难度,是国际上高度关注的课题,德国和意大利钠化产品就达不到国际通用的 API 标准。1986 年地矿部探矿工程研究所发明了一套能连续生产的钠化膨润土工艺,成功地解决了完全钠化的条件。已经进行了工业化生产,产品达 API 标准。在全国普遍推广,并出口到国外。产品获 API 证书。成果获国家发明专利,国家发明三等奖,优秀专利奖。后来还研制了 LBM 低黏增效粉,尤其适用于金刚石绳索取心钻进。

(二)抗盐黏土——海泡土及凹凸棒土

这两种土晶体构造为纤维状,分散在水中,纤维交叉形成网架结构,不依靠静电引力,具有良好的抗盐稳定性的黏土。矿物晶体结构在 350℃ 高温下仍无变化,具有好的热稳定性。可用于配制含盐钻井液及抗高温钻井液。

我国湖南、江苏等地找到大量海泡土及凹凸棒土,并研究出加工工艺,生产出符合 OC－MA 标准的钻井用抗盐土。

三、有机处理剂

如表 12-2 所示。

表 12-2　有机处理剂主要成分类型及主要功能

主要成分类型	常用处理剂产品举例	主要功能复制酸类
腐制酸类		
丹宁及木质素类		
纤维素类		
沥青类		
聚丙烯酸类		
树脂类		
淀粉类		
淀粉、植物胶类		
表面活性类		

第六节　固相控制及废浆处理

一、固相控制的意义

钻井液中的固相按作用可分为有用固相(配浆用膨润土、处理剂等)及无用固相(钻屑、劣土、砂粒等)。无用固相不仅无益而且危害甚大。如:①影响钻井液性能(密度、黏度、失水增大);②钻速下降;③事故增多;④绳索取心钻杆结垢;⑤损害含水层等生产层。

固相由不同粒度组成。有用固相分散性好,颗粒微小,如膨润土颗粒通常在2μm以下;无用固相颗粒较大。钻井液含砂量测量指的是74μm以上的颗粒。但实际上钻屑颗粒的大多数在74μm以下,特别是金刚石钻进,尤其如此。

绳索取心钻杆内壁结垢,泥垢的粒度据新疆地矿局探矿工艺研究室的研究和测量如表12-3所示,泥垢的粒度40~5μm占大多数,且20μm以下颗粒占78.5%。而用亚甲基兰蓝测量,这些泥垢均是钻屑而非造浆膨润土。

表12-3　绳索取心钻杆内壁泥垢颗粒分级及组成

颗粒分级		粒径(μm)	绳索取心钻杆泥垢组成(质量)(%)		
砾	粗粒	>2000			
砂	中粗	200~250	粒径(μm)	野外取样	室内试验样品
	中粒	250~74	>74		23.9
泥	细粒	74~44	74~40	8.2	18.1
	超细	44~2	40~5	75.3	48.6
	胶粒	<2	<5	16.5	9.4

因此钻井液的固相控制,清除无用固相,主要是清除大的固相颗粒;而且以前只"除砂",即除去74 μm以上的颗粒是不够的,必须"除泥",即清除74~2 μm的细粒和超细粒。只用循环槽、池沉淀清除是不够的,必须采用机械固控设备。

二、固控设备

石油钻井采用成套的固控设备(包括振动筛、除砂器、除泥器、离心机等),设备日益完善,其清除的颗粒范围各不相同。

1. 振动筛

筛布从10~20目(1905~838 μm)发展到150~200目(105~74 μm)。能清除74 μm以上的颗粒。采用高频、平衡振动。产生的分离力可达(4~10)G(地球重力,下同)。

2. 旋流器

通常将直径150 mm以上的旋流器称除砂器,50~100 mm的旋流器称除泥器,清除固体颗粒范围如表12-4所示。

表 12-4 旋流器清除固体颗粒范围

旋流器尺寸(mm〈in〉)	300(12)	200(8)	150(6)	100(4)	50(2)
清除的粒径(μm) *	46~80	32~64	15~52	10~40	2~15

*所列范围为在清水介质中,在泥浆中则能力下降。

3. 离心机

采用高速离心机,外筒转速 1500~2000 r/min,内筒为螺旋输送器,比外筒慢 20~40 r/min。离心机能清除 2~5 μm 以上的颗粒,或用以回收重晶石。产生的分离力可达 100~1000 G,高的可达 2000 G。

20 世纪 80 年代在地质勘探工程中开始重视使用机械固控设备,研制了水文水井应用的振动筛—旋流器组合的净化装置。研制了适用于金刚石钻探的 50 mm 旋流除泥器、立式及卧式离心机,其中新疆地矿局研制的 WL—230 型连续除泥离心机使用效果好。该机处理量为 200 L/min,离心力达 184 G,分离粒度达 9 μm,废浆中 <20 μm 的颗粒占 82.3%,含水率 <32%。产品 1989 年获国家专利,1992 年获国家发明奖。

三、废浆处理

废浆处理有固液分离和固化处理两种方法。

1. 固液分离处理

有自然沉降、化学处理、机械处理;常将两种或三种方式联合作用。地矿部保定水文方法研究所研制的 FC—A 型废泥浆处理机,由絮凝和网带式压滤两部分组成,带式压滤机包括重力脱水及挤压、高压脱水。处理能力 4~6 m^3/h,挤压出的泥饼含水率 30%~40%,可直接装车起运,废水也达排放标准。设备结构简单,占地面积小,使用搬运方便。

2. 固化处理

在废泥浆中加入固化剂,使其转化成类似土壤的固体,填埋或作建筑材料。固化剂有无机及有机两类,最常用的是水泥及其他材料的混合物。在石油钻井中开展了将泥浆直接转化为水泥浆进行固井的研究,并已应用于生产。

第七节 钻孔堵漏技术

一、钻孔漏失的原因

勘探工程钻进以古老地层居多,构造复杂,断裂带、溶洞等常频繁出现,钻进中钻井液漏失是常见的钻进问题。由于漏失还常伴随着孔内坍塌、井涌、井喷等。为解决漏失问题,花费大量财力和时间,处理无效时甚至造成钻孔报废。

造成钻孔漏失的必要条件有两个:一是地层有漏失通道;二是地层压力和孔内压力不平衡。

漏失通道有孔隙、裂隙和洞穴三类,张开大小不一,厚度相差很大,有的伴随着坍塌超径,有的还有地下径流、暗流。

压力不平衡是孔 P 与地层压力有压差,即:

$$\triangle P = Pm + Pa - P_0 — P_L \tag{12-4}$$

式中Pm—静液柱压力;

Pa—环空动压;

P_0—地层压力;

P_L—漏失通道中流动阻力。

防治漏失的途径有:①堵塞或封闭漏失通道;②增大漏失通道中流动阻力;③降低孔内压力,如降低钻井液密度,直至采用空气、泡沫、充气钻井液。

二、漏失层判断与检测

在防治漏失之前,必须对漏失带的类型、数量、深度、厚度、地下水位等各种参数有清楚的了解,必须用各种可用的手段进行判断与检测。

①钻井过程中的分析与判断。

②测漏仪及流速流向仪观测。JCL—1 测漏仪、SCL—1 深井测漏仪、LSX—2 流速流向仪等。

③物探测井。电法(视电阻率、自然电位)、放射性(γ,γ—γ,中子)、声波(声速、声幅)、温度等测井方法。

三、堵漏材料与方法

20 世纪 70 年代以前,现场用锯末、泥球、砖块等堵漏。20 世纪 80 年代以后发展了多种堵漏材料,形成系列化、规格化、商品化。

1. 惰性堵漏材料(桥塞剂)

有颗粒状(如核桃壳)、纤维状(如棉子壳)、片状(如云母片)20 余种,不同粒径,加工成商品。可用不同形状,不同粒径复配使用。现已有复合堵漏剂产品。

2. 水泥

1980 年研制成地勘水泥,专用于钻孔的护孔与堵漏,为硫铝酸盐型水泥,有 H 及 R 两种型号。具有速凝、初终凝时间间隔短、早期强度高、微膨胀、水灰比范围宽等显著优点,推广应用获显著效果。

3. 胶凝堵漏

聚丙烯酰胺(PAM)交联液(PAM 加水泥或 $CaCl_2$、$FeCl_3$ 等)、胶质水泥(水泥 + 黏土 + 泥浆再加水玻璃或石灰等)、柴油水泥胶塞(柴油 + 黏土 + 水泥与泥浆混合)等均为胶凝堵漏。

4. 化学浆液

脲醛树脂改性产品,粉剂,用盐酸作固化剂,固化时间可人为控制在十几秒至数小

时。必须用双液灌注,研制出各种型号的双液灌注器,在孔内固结。

301 聚酯:为不饱和聚酯、线性体,加交联剂组成的溶液,加入引发剂和促进剂生成体型聚合物。

氰凝堵漏由于毒性太大,已不再使用。

5. 高失水堵漏剂(DTR)

由渗滤性及纤维状材料与聚凝剂等复合而成的粉剂,配成的浆液送入漏层,在液柱压差作用下,迅速滤失(16 ~ 30 s),形成有一定强度的堵塞物,将漏失通道堵住。配合惰性材料,适合堵大漏。

6. 暂堵剂

单向压力封堵剂:国外称液体套管,为植物纤维处理加工而成,由钻井液携带,只需极小压差(20 KP)就能封堵漏层,压差解除,封堵解除(负压解堵),能很好地保护产层。还有酸溶性暂堵剂,用酸溶解堵。

7. 堵漏丸、片

树脂球:脲醛树脂胶粉加水泥、缓凝剂或促凝剂,与水配制作成球状,从孔口投入,或岩心管输送,用钻具挤入漏层。抗水稀释、冲散能力强,不易流失,凝结时间可人为控制。

YPS 堵漏片:用 PVA(聚乙烯醇)、CMC、合成胶粉、重晶石、黏土等混合,冲压成各种规格的圆片,可从孔口投入,也可用岩心管输送。遇水后快速提黏、交联、瞬时形成堵塞物。

8. 钻遇大溶洞、大裂隙、暗河等特大漏层,一般方法均难奏效。

为此研制了两种袋式堵漏:一是大型尼龙袋,长 3 ~7 m,直径 0.4 ~1.5 m,专用工具下入漏层部位,向袋内灌注速凝浆液,凝固后,钻开;二是复合堵漏袋,根据钻孔直径的需要,制成直径 50 ~200 mm、长 500 ~2000 mm 的堵漏袋,袋内装速凝水泥、重晶石、黏土、惰性材料等。可以单袋,从孔口投入;也可多袋用尼龙绳串起来送入漏层部位。

四、漏失层分类

为提高堵漏效果,必须对漏失层进行分类。湖南省地矿局探矿工艺研究队进行研究,提出新的分类方法。他们采用声波、γ—γ 、井径测井及转子流量计等方法对漏失层进行大量探测和广泛调研,并用数理统计和模糊数学方法,优选出漏失层特征参数 5 个,每个参数分为大、中、小 3 个等级;从 35 =243 种组合中删除不可能出现的 60 种,剩下 180 种漏失层情况;采用赋分、矩阵方法进行聚类,划分等级,分为 11 个类型 5 个等级,组合聚类如图 12-5 所示,分类参数组合如表 12-5 所示,并对每类漏失提出了治理对策。

地矿部探矿工艺所提出类似的分类,并按石油钻的要求列出级别划分的指标(表 12-5右竖行)。

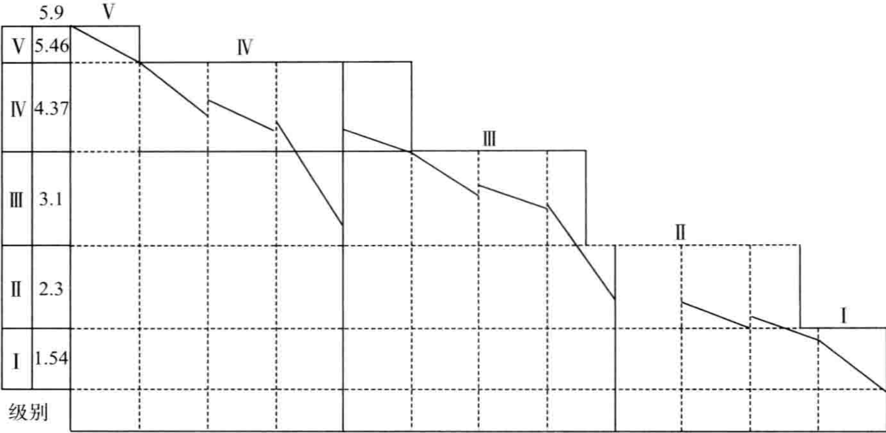


图 12-5　漏失层组合聚类分析

表 12-5　漏失层分类参数组合

Ⅴ	Ⅴ	Ⅳ	Ⅳ—Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ－Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ－Ⅰ	Ⅰ
径流型	大厚度型	大容量型	中小型	径流型	大厚型	大容量型	中小型	大厚型	大容量型	中小型
洞穴类					裂隙类			孔隙类		

类型		级别	参数组合	漏失层参数			
				名称	档次	划定指标	石油钻划分指标
孔隙类	中小型	Ⅰ	$R_1H_{1-2}Q_{1-3}U_{1-2}V_{1-2}$	主通道类型 R	41 孔隙 R_1	S 点孔状	孔隙点
	大容量型	Ⅰ～Ⅱ	$R_1H_{1-2}Q_{1-3}U_{1-2}V_3$		裂隙 R_2	S 条脉状	裂隙类点
	大厚度型	Ⅱ	$R_1H_3Q_{1-3}U_{1-2}V_1$		洞穴 R_3	S 管洞状	洞穴点
							诱发点
裂隙类	中小型	Ⅱ～Ⅲ	$R_2H_{1-2}Q_{1-3}U_{1-2}V_{1-2}$	厚度 H	薄层 H_1	＜1 m	＜30 m
	大容量型	Ⅲ	$R_2H_{1-2}Q_{1-3}U_{1-2}V_3$		厚层 H_2	1～10 m	30～100 m
	大厚度型	Ⅲ	$R_2H_3Q_{1-3}U_{1-3}V_{1-2}$		大厚层 H_3	＞10m	＞100 m
	强径流型	Ⅳ	$R_2H_{1-2}Q_{1-3}U_3V_{1-2}$	容量 V	小容量 V_1	$<3V_T$	$<50\ m^3$
					中容量 V_2	$(3\sim10)\%V_T$	$50\sim150\ m^3$
					大容量 V_3	$>10v_T$	$>150\ m^3$
洞穴类	中小型	Ⅲ～Ⅳ	$R_3H_{1-2}Q_{1-3}U_{1-2}V_{1-2}$	漏失量 Q	小漏 Q_1	$<0.5Q_P$	$<10\ m^3/h$
	大容量型	Ⅳ	$R_3H_{1-2}Q_{1-3}U_{1-2}V_3$		中漏 Q_2	$(0.5\sim1.0)Q_P$	$10\sim50\ m^3/h$
	大厚度型	Ⅳ	$R_3H_3Q_{1-2}U_{1-2}V_{1-2}$		大漏 Q_3	$>1.0Q_P$	$>50\ m^3/h$
	强径流型	Ⅴ	$R_3H_{1-2}Q_{1-3}U_3V_{1-2}$	径流量 U	微弱 U_1	＜1 L/min	＜30 L/min
					较强 U_2	(1～10)L/min	30～50 L/min
					强烈 U_3	＞10L/min	＞50 L/min
注:V_T—钻孔理论容积;Q_P—泵量。				压差 P	低压差 P_1		＜5 MPa
					中压差 P_2		5～10 MPa
					高压差 P_3		＞10 MPa

第八节　孔壁稳定技术

一、孔壁失稳的原因

维持孔壁稳定是钻孔钻达预定深度及目标的重要条件,并与钻进效率及质量密切相关,是钻井液技术的主要任务之一。

造成孔壁不稳的原因有:

1. 地质(岩层)因素

成因及构造运动引起的岩层破碎、松散、水敏、水溶等。

2. 力学因素

地层深处岩层由上覆岩层重力及构造力引起的地应力;钻井液作用于孔壁的静压、动压及冲刷力。

3. 化学因素

钻井液及滤液与孔壁岩层相互作用发生的物理、化学作用。

为了有效护孔,钻探工作者进行了大量研究。但前一阶段主要集中在护孔的材料和工艺上。20 世纪 80 年代开始主要从化学因素对孔壁稳定的理论进行了研究,20 世纪 90 年代从力学因素以及与化学因素两者的结合,进行了研究,取得很大进展。

地质岩心钻探所遇岩层不仅有较年青的沉积岩,而且有古老的变质岩、岩浆岩;越是成矿带,越是地质构造复杂的地区;孔壁稳定问题比石油钻井更为复杂。

二、孔壁稳定机理

(一)孔壁稳定力学

地层深处的岩石受到上覆岩层压力、水平地应力及孔隙压力的作用,在钻孔未钻开前处于应力平衡状态。钻开以后,破坏了原有的平衡,应力重新分布。如孔壁所受应力超过岩石强度,就会破坏,使孔壁失稳,造成缩径、坍塌,或破裂、压裂。钻进过程中钻井液的静液柱压力对孔壁起支撑作用,但液流的冲刷及动压加剧孔壁的不稳定。

根据岩体力学、多孔弹性介质力学等,可由岩石原地应力:上覆岩层压力,最大、最小水平主应力,求出孔壁岩石所受径向、周向、垂向应力分量,由摩尔一库仑强度准则,可求出孔壁坍塌压力及破裂压力。坍塌压力的大小决定于原地应力、孔隙压力及岩石强度参数(抗剪强度、内摩擦角、泊松比等)。如钻井液的液柱压力能有效平衡坍塌压力,则能维持孔壁的稳定。

(二)物理化学作用

钻井液滤液中的水与岩层作用发生水溶及水化。水溶性岩层遇水溶解,造成孔壁扩大及坍塌,或者对钻井液造成离子污染,破坏钻井液性能,失去护孔作用。水敏性岩层水化,造成岩层膨胀、松散、剥落,引起孔壁缩径、坍塌。

1. 水进入岩层内部的作用

(1)毛细作用

岩石微裂隙、层理、纹理,均为良好的毛细通道,毛细压力使水进入岩层,使微裂隙、层理等张开。

(2)表面水化

埋藏一定深度的泥页岩,在上覆岩层的挤压下,将其所含水分挤出,本身储存着巨大的表面能,有强的吸水力,钻开以后,吸水膨胀。

(3)渗透水化

泥页岩表面如同渗透膜,当地层内与钻井液之间含盐量或离子浓度不同时,便产生渗透压,使水发生浓差扩散。通常钻井液中的离子浓度较低,水向泥页岩晶层间扩散。

2. 水化对孔壁稳定的影响

(1)降低岩层强度

水进入岩层中,降低岩层表面能,并扩大颗粒间距,使岩层强度降低。

(2)增加孔壁周围应力

岩层水化产生很大的水化应力,使孔壁周围应力增大。

(3)蒙脱石为主的页岩,水化膨胀。

(4)毛细压力引起裂隙、层理发育的岩层崩解、剥落。

三、孔壁稳定措施

孔壁稳定措施主要有:①采取压力平衡钻进工艺;②采用新型防塌处理剂和防塌钻井液;③强化孔壁的稳定。

新型防塌处理剂和防塌钻井液包括:

1. 钙处理泥浆

Ca^{2+}与泥页岩中黏土离子交换及离子抑制,降低黏土水化,或与黏土化学反应,生成类似硅酸钙的低渗透层。

2. 盐水及饱和盐水钻井液

离子抑制,抑制黏土水化,阻止盐类岩层溶解。

3. 钾基钻井液

含有 KCl、KOH 或腐殖酸钾等处理剂的钻井液,K^+有两种作用,一是离子交换;二是晶格固定:K^+离子半径与黏土六方晶格尺寸刚好相符,离子交换后嵌入六方晶格,起封闭作用。

4. 聚合物低固相、无固相钻井液

聚合物的包被作用。水溶性高聚物吸附在岩层表面,形成高分子吸附膜,包被岩层表面;高聚物长链在岩层表面多点吸附,横向封闭岩层微裂隙及层理,增强岩层胶结强度。

5. 硅酸盐钻井液

水玻璃以 Si—O—Si 形式强吸附在黏土或岩层表面,能抑制泥页岩水化和分散,增强

岩层胶结强度。pH 降至 9 以下,能形成凝胶。

6. 沥青类钻井液

如磺化沥青、防塌沥青钻井液,其中水溶性基团,降滤失,并吸附在裂隙边缘,形成憎水膜,抑制水化;不溶性微粒在压差下变形,封堵微裂隙或层理,提高裂隙黏结力,起封堵作用。

7. 阳离子聚合物钻井液

除包被作用外,阳离子基团中和黏土表面负电荷,阻止黏土水化和运移。稳定黏土能力远超过无机盐和阴离子或非离子型聚合物。

强化稳定孔壁新方法主要包括黏土水泥浆封固法,硅酸盐加固法,树脂加固法和随钻封固孔壁钻井液等。

四、不稳定岩层分类

石油钻井主要是对泥页岩进行分类,国外将页岩分为 5 类。中国石油总公司将不稳定岩层按层理、裂隙发育情况以及膨胀性、分散性等分为 6 大类 8 亚类,并包含有盐膏层、煤层、玄武岩、辉绿岩等。

岩心钻探中泥页岩也是重要问题,但变质岩、蚀变带、断层带及硬脆碎等复杂情况,更为频繁和突出:岩盐、石膏、高岭土、煤层等不仅要护壁,还要取心。各省、市、自治区所遇情况不完全相同,尚未能制定统一的分类,各省、市、自治区开始制定适于本地的分类方法。安徽地矿局将不稳定岩层分为 4 大类 3 亚类如下;并制定各类地层的钻井液对策。

①松散不稳定地层。如粉砂,流砂,风化层。

②破碎不稳定地层。硬、脆、碎地层,如破碎闪长岩,石英角砾岩,断层破碎带。

③水敏不稳定地层。

吸水膨胀地层:如膨润土、泥岩、以蒙脱石为主的黏土层。

吸水分散地层:如蚀变凝灰岩,蚀变粗安斑岩,高岭土化、绢云母化岩石,泥质砂岩。

吸水剥落地层:如泥质板岩,砂质页岩,片岩,石英石墨片岩。

④水溶不稳定地层。岩盐,天然碱,芒硝,含易溶硫化矿物和石膏的地层。

孔壁稳定技术是一项综合技术,必须运用钻井液技术的各项成果,包括理论、方法、工艺。护孔工作的成效,反映着钻井液技术的综合水平。钻井液技术在 20 世纪取得显著进步,但还有很多问题需要研究,例如:

①孔壁稳定机理、孔壁应力测试。

②钻井液新体系、新材料和新工艺。

③利用化学、电化学强化稳定孔壁的新方法。

④钻井液的流变、滤失、漏失的随钻测试。

通过上述各项技术研究,钻井液技术将会获得更大的进步。

复习思考题

1．简述钻井液的功能。

2．简述漏失层分类方法。

3．简述孔壁稳定措施有哪些。

4. 简述不稳定岩层分类方法。

第十三章　水文水井钻探

第一节　水文水井地质钻探

水文水井钻探工程包括水文地质勘探钻探工程、地下水源开发钻探工程以及地下水的防治钻探工程，主要任务是揭露勘探区的地下水，确定主要含水层的位置、数目，查明含水层与隔水层的岩性、埋藏深度及其变化规律，并通过地下水动态观测及抽水实验，获得水文地质参数，为地下水源的开发、综合利用、制定防治措施提供依据。

一、水文钻孔概述

1. 水文钻孔特点

水文地质钻探工作的任务，决定了水文钻孔的特点。

(1)钻进地层复杂常见的地层有：①第四系。以松散沉积物为主，多为表土、黏土层、砂层或卵砾石层。其厚度不一，有的很薄甚至没有，有时厚可达600～800 m。不成岩，可钻性多在1～2级，孔壁易坍塌。②厚度大的煤系地层等。包括三叠系、二叠系、石炭系等，岩性以泥页岩、砂岩、泥质砂岩、灰岩和煤层为主。其中，泥页岩等水敏性岩层易坍塌，石英砂岩和某些致密灰岩岩性坚硬。③奥陶系和寒武系。大部分基岩水文水井以奥陶系或寒武系灰岩含水层为目的层，其岩性以石灰岩、白云岩、角砾状灰岩、泥灰岩以及砂岩为主。这些岩层中裂隙、岩溶发育，常会出现冲洗液严重漏失的现象。泥灰岩、角砾状灰岩等岩层容易坍塌掉块，出现卡钻等事故；可钻性差异很大，例如泥灰岩为2～3级，而致密基岩可达9～10级。

(2)钻孔深度大。水文地质勘探孔的钻孔深度由主要含水层的埋深来确定，除第四系钻孔外，一般均要钻穿煤系直到奥陶系或寒武系地层。因此，钻孔深度大。

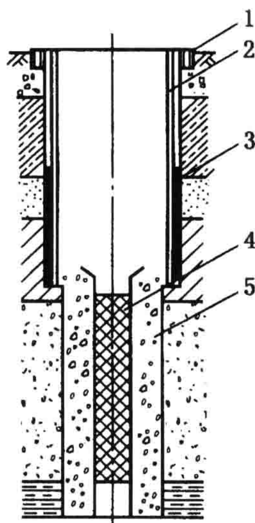
(3)钻孔孔径大。水文地质勘探钻孔揭露勘探区主要的含水层，要求试验层段有相当大的孔径，以保证地下水顺利进入钻孔，要求下泵段或观测段有足够的孔径，以满足下泵抽水试验或进行地下水动态观测的需要。所以，水文地质勘探的抽水孔和观测孔的孔径均比地质勘探钻孔要大，一般试验段孔径不小于108 mm，下泵段孔径大都在168 mm以上。

(4)井身结构复杂为了获得不同含水层(段)的水文地质参数，需要下入多层套管对不同的含水层(段)进行隔离，有时达3～4层。因此，水文钻孔的井深结构比一般勘探探

孔复杂。

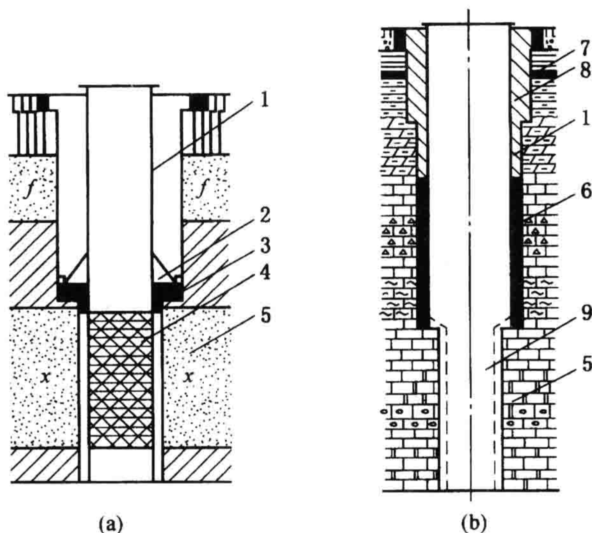
2. 水文钻孔类型

按钻孔用途不同,水文地质钻孔可分为抽水孔、观测孔. 观测孔又分为临时观测孔与长期观测孔,有时也将简易抽水孔转为观测孔。抽水孔和观测孔由于用途不同,孔身结构也不同(如图 13-1、图 13-2、图 13-3 所示)。



1 – 孔口管;2 – 井壁管;3 – 封孔止水段;4 – 包网滤水管;5 – 砾料

图 13-1　第四系勘探抽水孔结构示意图

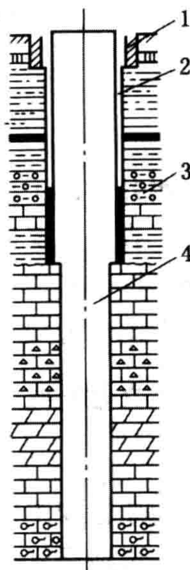


a – 第四系临时观侧孔;b – 基岩长期观洲孔

1 – 井管;2 – 临时止水托盘;3 – 止水物;4 – 缠丝包网滤水管;

5 – 含水层;6 – 孔止水段;7 – 煤层;8 – 充填的黄土;9 – 圆孔滤水管

图 13-2　观测孔结构示意图



1－孔口管;2－井壁管;3－封孔止水段;4－裸眼孔段

图 13-3 基岩深水位探采结合孔结构示意图

水文地质钻孔按主要含水层的层位可分为第四系勘探钻孔和基岩勘探钻孔。

按钻孔深度不同,水文地质钻孔分为浅孔、中深孔和深孔,孔深小于 60 m 的钻孔为浅孔,60～200 m 的钻孔为中深孔,大于 200 m 的钻孔为深孔。

在水文地质勘探中,为了满足供水的需要,常将有供水意义的勘探抽水孔作为长期供水孔使用,即探采结合的钻孔。

3. 水文钻孔结构

水文地质勘探孔的钻孔结构,包括开孔孔径、中间各次变径、终孔孔径及其各段孔径的设计深度。钻孔结构设计得合理与否,直接影响钻探工程施工的难度和经济效益,而影响钻孔孔径、深度的因素有:

(1)钻孔预计出水量。根据预计出水量和地下水主要含水层(段)的埋藏深度与水位深度,确定抽水孔抽水设备的种类及型号,根据这些参数确定下泵段井管的直径。下泵段井管的内径必须保证顺利放入抽水设备(如深井泵、潜水电泵、风管、水管等),并同时能进行水位观测。

(2)根据预计出水量和成井工艺要求确定抽水试验段的孔径。在同一含水层位,过滤器直径增大,则出水量也增大,但当过滤器直径增大到一定程度后,出水量的增加比例减少。而孔径的增大,则相应增加了钻探施工的难度,并使钻探成本大幅度增大。水文勘探基岩抽水孔试验段的孔径,应不小于 108 mm,在松散层中宜大于 200 mm。

(3)确定了抽水试验段的孔径后,对于松散层勘探抽水孔,可根据设计要求的填砾厚度确定钻孔直径。对于基岩勘探抽水孔,如需放入过滤器,则可根据过滤器的类型和实际外径来确定钻孔直径。

(4)岩层条件复杂或要做多个含水层抽水试验的钻孔,应根据最后一个主要抽水试验层段的钻孔直径(一般为终孔直径),逐级向上设计上部各层套管的直径及相应孔段的钻孔直径。

(5)根据井管直径确定钻孔直径时,还应考虑钻进工艺。回转取心钻进,采用与井管同径或大一级孔径钻进。如果采用牙轮钻头、刮刀钻头或其他全断面钻进工艺,则钻孔直径应比井管大一级或大二级。

(6)对于勘探观测孔,一般以满足试验段的正常观测及上部封孔止水要求为原则,设计井管直径及钻孔直径。对观测孔无下泵段、滤水管进水流速等要求时,孔径可比抽水孔小,一般不小于 89 mm。

(7)水文勘探孔的终孔深度,一般以钻穿有供水意义的主要含水层或含水构造带为原则,抽水试验段的长度按含水层的厚度确定。最下部抽水试验段以下,应留有一定的沉淀段长度,大口径深水井以及含砂量较大的水井,沉淀段长度为 10 ~ 20 m,浅孔和小径水井,沉淀段长度以 2 ~ 10 m 为宜。

(8)在设计抽水孔下泵段深度时,应考虑抽水孔的预计最大水位降深因素,确定下泵或下管深度,还要考虑抽水设备的类型。

(9)各层套管的设置深度及长度,以保证有效封隔各含水层或隔离复杂岩层为原则。在确定各层套管的设置深度和封孔止水层位后,换径部位必须选择在岩层完整的地段,以保证封孔止水的可靠性和套管底脚的稳固。

二、水文地质钻探设备

水文地质钻探主要设备包括:钻机、泥浆泵、水泵、空气压缩机等。

(一)钻机

钻机是水文地质钻探主要设备,常用的钻机有钢绳冲击钻机、转盘式回转钻机、全液压动力头式钻机,本节重点介绍钢绳冲击钻机与轮盘式回转钻机。

1. 钢绳冲击钻机

钢绳冲击钻机有 CZ、CJ、150、冲抓锥等类型,其中 CZ 系列有 3 种型号:CZ - 20、CZ - 22、CZ - 30,钻孔直径 500 ~ 1000 mm、钻孔深度 120 ~ 250 m。150 m 钢丝绳冲击钻与冲抓锥多用于农业凿井,适用于松散地层、砂砾石、砂卵石、黏土层。

现以 CZ—22 为例说明其主要技术参数。CZ - 22 型钢绳冲击钻机:钻孔直径有两种情况,采用泥浆护壁钻进时为 750 mm,套管钻进时为 550 mm,孔深 200 m。钻具自重 1300 kg,冲程 350 ~ 1000 mm,冲击次数 40 ~ 50 次/min。有 3 种卷筒,钻具卷筒起重能力 19.6 kN,选用钢绳直径 21.5 mm,平均卷速 1.28 ~ 1.47 m/s。抽筒卷筒起重能力 12.74 kN,选用钢绳直径 15.5 mm,平均卷速 1.26 ~ 1.56 m/s。辅助卷筒起重能力 14.7 kN,选用钢绳直径 15.5 mm,平均卷速 0.81 ~ 1.02 m/s。桅杆高度 13.5m,起重量 117.6 kN。电动机功率 30 kW。钻机质量 8200 kg。

冲抓锥:钻孔直径可达 1100 mm,最大钻进深度 33 m,卷筒提升力 15 kN,钢绳直径 12.5 ~ 15.5 mm,主机质量 800 kg,适用于含卵石地层中钻进。

2. 转盘式回转钻机

该钻机型号较多，在水文水井钻探中应用广泛，较常用的型号是 SPC－150 型，其主要技术参数如下：

钻孔直径 150～350 mm，孔深 200 m，钻杆直径 60～114 mm。转盘转速 32.6～107 r/min，主卷扬机提升速度 0.6～2.08 m/s，抽筒卷扬机提升速度 0.6～1.40 m/s，钻塔 8.5 m、额定负荷 78.5 kN，钻机总质量 9900 kg。泥浆泵型号为 4/3C—AH 渣浆泵，排量 2000 L/min，压力 0.2 MPa。柴油机提供动力，型号 X4105，功率为 48×0.736 kW。

（二）空气压缩机

空气压缩机的种类较多，在水文水井钻探中常用的空气压缩机有：W－6/7、AW－6/7、BW－6/7、YV－6/8、LY－10/7 等。

W－6/7 型空气压缩机为 W 型二级单动风冷移动式，为空气冷却，压缩级数 2，排气量 6 m^3/min，工作压力 0.7 MPa。吸入空气温度 40℃时，第一级排气温度小于 1500℃、第二级排气温度小于 1650℃、第三级排气温度小于 1800℃。储气容量 0.25 m^3，最大拖动速度 15 km/h，最小转弯半径 5 m，全机质量 3200 kg。

三、水文地质钻进方法

钻进方法分类如表 13-1 所示。

表 13-1　钻进方法分类表

<table>
<tr><td rowspan="2">冲击钻进</td><td colspan="3">钻杆冲击钻进</td></tr>
<tr><td colspan="3">钢丝绳冲击钻进</td></tr>
<tr><td rowspan="9">回转钻进</td><td rowspan="3">岩心钻进</td><td colspan="2">硬质合金钻进</td></tr>
<tr><td colspan="2">金刚石钻进</td></tr>
<tr><td colspan="2">钢粒钻进</td></tr>
<tr><td rowspan="6">全国钻进</td><td rowspan="2">转盘钻进</td><td>刮刀钻进</td></tr>
<tr><td>牙轮钻进</td></tr>
<tr><td colspan="2">螺旋钻进</td></tr>
<tr><td rowspan="3">孔底发动机钻进</td><td>电动钻进</td></tr>
<tr><td>涡轮钻进</td></tr>
<tr><td>螺杆钻进</td></tr>
<tr><td rowspan="6">冲击回转钻进</td><td>大气钻进</td><td colspan="2">潜孔锤钻进</td></tr>
<tr><td rowspan="5">液动钻进</td><td colspan="2">喷射式钻进</td></tr>
<tr><td colspan="2">射流式钻进</td></tr>
<tr><td rowspan="3">阀式钻进</td><td>正作用</td></tr>
<tr><td>反作用</td></tr>
<tr><td>双作用</td></tr>
</table>

目前，水文地质钻探常用的钻进方法可分为：

按碎岩原理不同有回转钻进、冲击钻进、冲击回转钻进。

按碎岩形式不同有环面破碎取心钻进、全面破碎不取心钻进。

按切削工具类别不同有合金钢钻进、钢粒钻进、牙轮钻进。

按钻进工艺程序不同有小口径(常规口径)取心钻进、大口径扩孔成孔、大口径一次钻进成孔。

按冲洗液(气)循环的方向不同有正循环钻进、反循环钻进、部分反循环钻进。

按钻进地层不同有第四系地层钻进、基岩地层钻进。

水文水井地质勘探钻孔以回转钻进、冲击钻进为主。对于需要取心的钻孔或孔段,小口径段采用回转取心钻进,而大口径段则多采用回转取心扩孔钻进。有时大径孔段虽然不要求取心,但由于钻探设备能力限制,也采用回转取心钻进工艺。对于施工区地质资料掌握较多而不需要取心的钻孔或孔段,只要条件允许,均可采用全断面回转钻进。

在水文地质钻探中,钻孔直径大于 225 mm 为大口径,常用于水量大的水文勘探和探采结合孔。钻孔直径小于 170 mm 为小口径即常规口径,多用于水文地质孔、水文地质观测孔及水量小的水文地质勘探孔,本节重点讲述。

(一)取心钻进

1. 第四系地层取心钻进

在第四系松散层(以黏土、亚黏土、卵砾石层及砂层为主)、泥岩、泥灰岩及断层破碎带等松软、破碎地段钻进时,易发生坍塌、漏失、缩径等现象,不易取心。因此,钻进中应合理选择取心工具,使用优质泥浆,正确选用钻进技术参数和控制一定的钻速。

1)钻头和取心工具的选择

钻进松软岩层时,钻头的选择一是要有较大的底出刃,以保证有较大的切入深度;二是要有较大的外出刃,以保证有较大的外环状间隙,防止埋钻和糊钻;三是要有合适的水口,对双管取心钻头,软岩层多采用底喷水眼以防冲毁岩心。

在软岩层中取心多采用肋骨钻头,如阶梯式肋骨钻头、螺旋式肋骨钻头和普通内外肋骨钻头等。如图 13-4 所示是一种小肋骨取心钻头,它在较软岩层中使用效果较好。对于破碎岩层或卵砾石层,常采用在筒式取心钻头内壁焊有径向短钢丝的钢丝绳筒式取心钻头。

岩层取心钻进,对于较完整岩层可使用普通单筒取心工具,对于松散、破碎不易取心的岩层,应使用双管单动取心工具或井底局部反循环钻具。

2)钻进技术参数的选择

(1)钻压　软岩层取心钻进,钻头刃具易于切入岩层,钻压过大,刃具切入过深,扭矩增大,易折断硬质合金,造成钻具事故,或者损坏设备。所以对于软地层,钻压的选择要考虑钻具和设备的抗扭能力。另外,钻压大切入深钻速过快,如果洗井泵量小,岩粉不能及时带走,易发生泥包钻头或埋卡钻事故。钻进软岩层应选择适当钻压,控制钻速。

(2)转速　硬质合金取心钻进,钻速和转速成正比,高转速对提高钻速非常必要。但还必须考虑洗井条件、设备和钻具能力等因素。由于水文勘探钻孔直径大,不宜统一规

定转速，一般以钻头硬质合金旋转的线速度在 1～1.5 m/s 范围内选择转速，岩层松软取上限，岩层较硬取下限。

(3)泵量的选取　对于岩心采取率的影响很大。确定泵量一是根据所钻岩层情况，对于易糊钻的黏土、泥岩泵量应适当大些；二是要利于取心，对不易取心的泥灰岩、松散砂层、破碎岩层泵量要适当减小，或者采用井底局部反循环取心钻进(即采用无泵接头)。

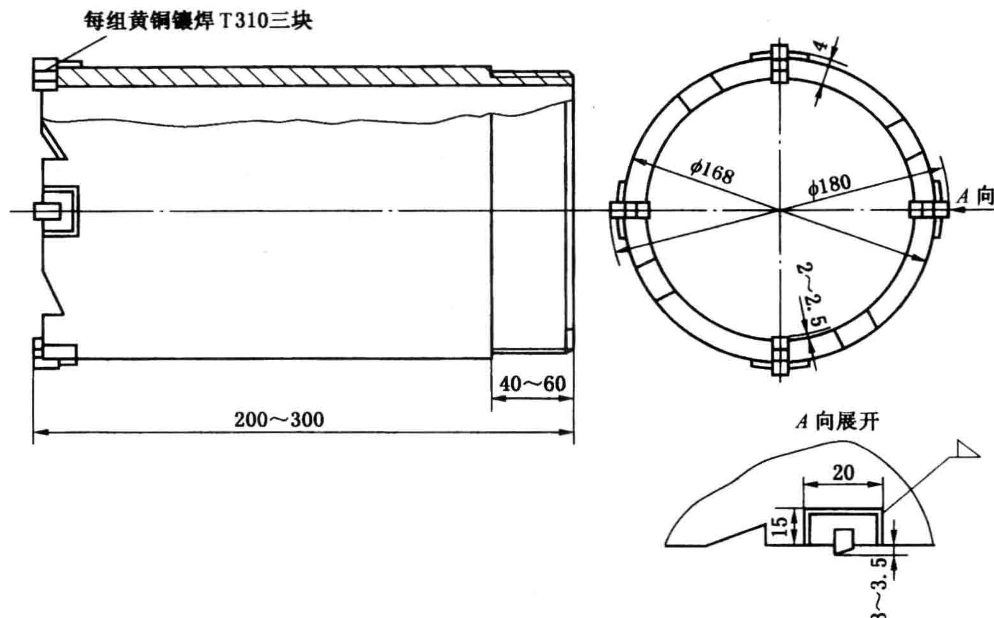


图 13-4　T310 小肋骨取信钻头

2. 基岩地层取心钻进

1)硬质合金取心钻进

(1)钻头和钻具的选择硬质合金取心钻进适用 3～6 级软到中硬岩层，常用普通筒式取心钻头，但要考虑钻孔直径较大的影响。由于孔径大，单位孔深破的岩石量大，要求水文取心钻头耐磨性好，强度大。钻头上硬质合金外出刃选为 1.5～2 mm，内出刃 1～1.5 mm，底出刃 1.5～3 mm。硬质合金的布置常采用双排单粒或双排双粒方式。由于水文地质勘探孔钻进地层溶洞，裂隙发育，硬质合金容易崩断。所以，较多采用中八角或大八角柱状硬质合金。

硬质合金镶焊的数量，取决于岩层硬度和钻头直径。由于水文水井钻头直径大，不能只按 4 组或 6 组合金布置，一般在钻头圆周上每距离 50～80 mm 镶焊一颗合金，岩层较软时，间距可稀些，岩层硬则密些。在 3～6 级砂岩、砾岩层，也采用普通四肋骨八角柱状合金取心钻头或六肋骨八角柱状合金取心钻头。

(2)钻进技术参数　①钻压　在实际作业中，常以每块合金的承压来计算钻压，硬质合金为方柱状、小八角，每块合金承压为 980～1176 N；中八角硬质合金每块承压为 1176～1470 N，大八角硬质合金每块承压为 1764～1960 N；②转速　转速的确定原则与钻进软岩层相同，常以钻头刃具旋转的线速度来确定转速，线速度范围为 0.5～1.5 m/s；

③泵量 由于孔径大,环空间隙大,因此要求有大的泵量;④钻井液 在环形间隙中的上返速度应能有效地携带岩屑。实践证明,冲洗液的上返速度,对于性能较好的泥浆应不低于0.25～0.3 m/s,对于清水则不应低于0.5 m/s,这一数值与大口径孔较为接近。

2)金刚石取心钻进

金刚石取心钻头很少用于水文水井钻探,其原因主要有两个:一是金刚石钻头钻进要求高转数,而常用的水井钻机转数都较低,无法满足高转数的要求;二是大径金刚石钻头费用昂贵,在没有相当高进尺的情况下,成本高,难于普遍使用。

(二)全断面钻进

全断面钻进适用于地质情况清楚不需取心的钻孔或孔段。全断面钻进在大口径钻孔中与逐级取心扩孔钻进相比较,钻效高、成本低,有着明显的优势。因此,在钻探工程中,越来越多地采用全断面钻进工艺。全断面钻进可分为回转钻进、冲击钻进和冲击回转钻进,而以回转钻进为主,有代表性的回转钻进是刮刀钻头钻进和牙轮钻头钻进。

钢丝绳冲击钻进、空气钻进、气动冲击器钻进在水文地质钻探中占有重要地位,本节作为重点讲述。

四、钢丝绳冲击钻进

在重力作用下,钻头从一定高度落下周期冲击孔底,破碎岩石。每次冲击之后,钻头在钢丝绳带动下回转一定角度,钻孔形成规则的圆形断面。被冲击破碎的岩粉,用抽筒捞取,获得进尺。冲击钻进是传统的钻进方法,主要有以下特点:

(1)耗功小,效率低 岩石动载破碎强度比静载要小得多,冲击动载荷破碎岩石消耗的功也就小。在坚硬、有裂隙发育的地层及大卵砾石层中钻进,效果尤为明显。但是,钻头在孔内上下运动,定期停歇,有效破碎岩石时间少,降低了钻进效率。

(2)钻头磨损较慢 冲击钻进中,大部分时间钻头是在孔内上下运动,与岩石接触的时间短,磨损慢。普通碳素钢制成的钻头,只要及时修整补焊,即可长期使用。

(3)设备少,成本低 钻进不用钻杆、循环冲洗液,免去了钻杆、水泵等附属设备,缩短辅助时间,减少事故,减少水量消耗,降低成本,对缺水地区非常适宜。

(4)钻具自由下落钻进,只能钻进垂直钻孔,且不能取得完整岩心,只能采取岩粉。

(5)易操作,搬迁方便。

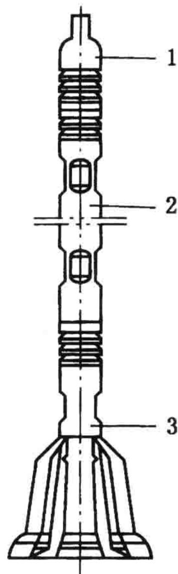
1. 钢丝绳冲击钻具

钢丝绳冲击钻具由冲击钻头、钻杆、钢丝绳接头、抽筒等组成(如图13-5所示)。

(1)冲击钻头 冲击钻头由颈部、钻头体、底部3部分组成,颈部通过粗锥形丝扣与钻杆连接,岩粉从钻头体的沟槽流过,底部有多种刃角,冲击钻头结构如图13-6所示。

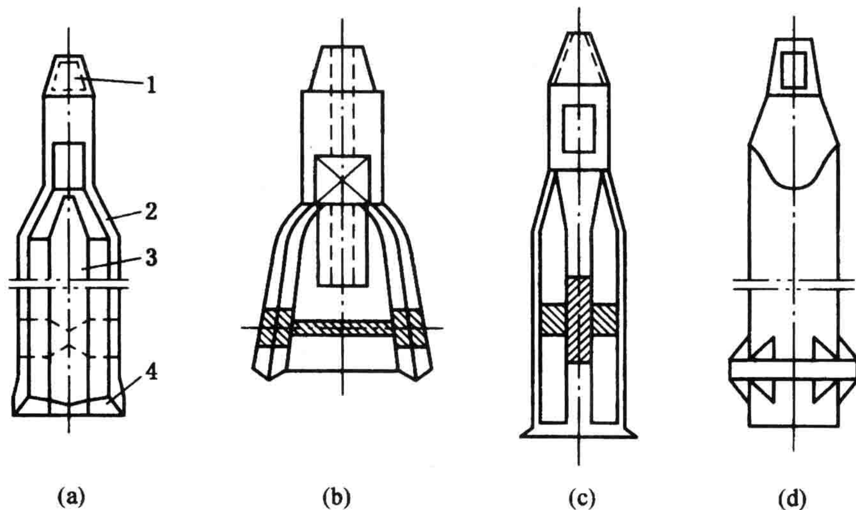
按钻头刃部形状可分为:"一"字形钻头,适用在大卵石、漂石、坚硬的黏土层和完整软岩层中钻进;"工"字形钻头,适用在发育小裂隙的较硬地层中钻进;"十"字形钻头,适用在砂卵石、砂砾石、裂隙发育的较硬地层中钻进;抽筒钻头,适用在松软的砂层、土层、砂卵石层中钻进,它是在抽砂筒基础上加焊肋骨片制成的。钻进时,边冲击破碎土层,边掏取岩粉。当遇到小于抽筒内径的卵石时,卵石直接套入抽筒内,钻进效率能提高1～2

倍。但是,遇到大于抽筒内径的卵石地层,冲击钻头效率比其他钻头要低。



1 - 钢丝绳接头;2 - 冲击钻杆;3 - 冲击钻头

图 13-5　冲击钻头钻具



a - 字形钻头;b - 工字形钻头;c - 十字形钻头;d - 抽筒钻头

图 13-6　钻头刃部结构示意图

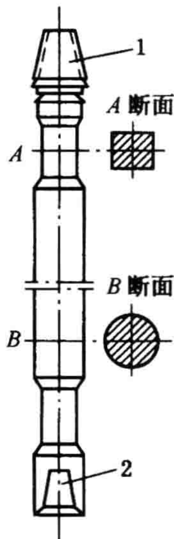
钻进一段时间后,钻头受到磨损,当钻头刃部直径比原尺寸小 15 ~ 20 mm 时,应停钻提出钻具,进行补焊。使用钨钢粉焊条,补焊后耐磨强度提高 1 ~ 3 倍。

(2)冲击钻杆　冲击钻杆结构如图 13-7 所示,钻杆下端内锥形丝扣与钻头连接,上端外锥形丝扣与钢丝绳接头连接。钻杆两端方形卡槽,用来拧卸钻具。钻杆一方面用来加重冲击钻具的质量,提高在坚硬地层钻进时的效率;另一方面起导正钻具作用,避免钻

孔弯曲。

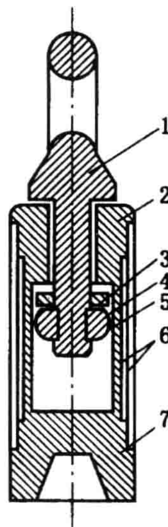
(3)钢丝绳接头　其结构如图13-8所示,钢丝绳接头下端内锥形丝扣与冲击钻具连接,使钻具在钢丝绳扭力作用下,钻头冲击一次后自动回转一定角度。当钻具提升时,钢丝绳接头与钻具一起因受钢丝绳拉伸作用扭转一个角度。当钻具下落冲击孔底时,钢丝绳因不受力而恢复原来状态(扭紧),连接钢丝绳的带环螺杆在垫圈间隙内滑动,实现钢丝绳扭紧而不带动钻头转动,形成钻头每冲击一次就回转一定角度。

(4)抽筒　其结构如图13-9所示,钻头冲击破碎钻进一定进尺后,孔内存有大量岩粉,需下入抽筒清除孔内岩粉。



1－上接头;2－下接头

图13-7　冲击钻杆



1－带环螺杆;2－导向环;3－垫圈;

4－开口销;5－螺母;6－双套管;7－下接头

图13-8　活动式钢丝绳接头

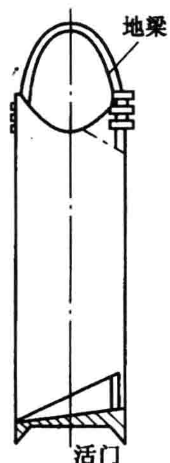


图13-9　抽筒

2. 钢丝绳冲击钻进技术参数

合理确定钻进技术参数,对提高钻进效率,保证钻孔质量,降低施工成本有着重要意义。影响钢丝绳冲击钻进效率的因素主要为钻具质量和冲击末速度。冲击钻进的速度与钻具质量,提升高度,冲击频率,钻具在孔内下降的速度成正比,与钻孔直径的平方成反比。冲积末速度又取决于钻具在孔内的下降加速度和冲击高度。因此,保证钻具在孔内的最大加速度,使其力求接近自由落体时的速度是提高钢丝绳冲击钻进效率的有效方法。钢丝绳冲击钻进技术参数包括:钻具质量、冲击高度、悬距、冲击次数、岩粉密度等。

(1)钻具质量　根据岩石的坚硬程度选择钻具质量,一般情况下地层越坚硬,钻具质量应越大。在松软的砂土层中钻进,钻具质量一般为500~800 kg;在卵石、漂石、砾石等坚硬地层中钻进,钻具质量为800~1200 kg。当钻头自重不足时,需要在钻头上部连接加重钻杆,增大钻具质量。

(2)冲击高度　增加冲击高度,得到较大的钻头冲击速度,对岩石冲击破碎效果比增

大钻具质量要好。一般情况下,坚硬地层采用大冲程,软地层用小冲程,但在加大冲击高度时应考虑钻具的质量、硬度、承受能力。

(3)悬距　当冲击梁处在上死点位置,钻头距孔底的高度称为悬距。由于钻具重力作用,钢丝绳弹性拉伸变长,当钻头与孔底接触时,便发生剩余长度,钢丝绳处于松弛状态,钻具易发生摆动;当提升钻具时,钢丝绳负荷突然增加,易造成抖动现象,并且钻具丝扣连接减弱,容易造成事故和孔斜。悬距的大小取决于岩石的硬度、一次冲击岩石破碎的深度及钢丝绳的拉伸长度。钻进软岩时,钢丝绳伸长距离与钻具切入岩石的深度相当,钻头正好放置在孔底,故可不必留悬距。钻进硬岩时,冲击一次切入的深度很小。因此,必须留有悬距。悬距的大小主要根据操作者的感觉来确定,当悬距不合适时,钢丝绳抖动剧烈,进尺缓慢。悬距合适时,钻机运转平稳,进尺较快,比非正常时提高效率50%以上。

(4)冲击次数　冲击次数愈多,单位时间对岩石的破碎作用次数愈多,钻进效率高。但是冲击次数与冲击高度相互制约,增加冲击次数就必然减小冲击高度。一般在坚硬地层中钻进,冲击次数应低,松软地层中钻进冲击次数应高。

(5)岩粉密度　孔内岩粉密度过高时,将会降低孔内钻具的下降加速度;岩粉密度过低时,则在孔底形成一层岩屑垫,减弱钻头在孔底的冲击作用。合理的岩粉密度应该是岩粉呈悬浮状态,孔底岩粉较少,一般最优的岩粉密度应控制在1.7~2.3之间。

3. 不同地层冲击钻进技术

(1)黏土、黏质砂土和砂质黏土中钻进　该类地层黏软、透水性差,钻进时孔内造浆能力较强,孔壁不易坍塌,易产生缩径现象。因此,适宜选用清水水压保护孔壁,即钻孔中水柱的压力对孔壁进行液力支撑。

钻具宜选用肋骨抽筒,促使钻孔孔壁圆滑。由于地层黏软,对钻具有一定抽吸力,在操作时一定要闸紧闸把,采用中冲程、中频率、短回次进尺,一般0.5 m一回次。黏土层的塑性较大时,弹性也较大,进尺困难。此时,可向孔内投入一些较软的碎石,破坏黏土的结构,提高钻进效率。

(2)砂砾、砂卵、漂石地层中钻进　该类地层比较松散,孔壁稳定性差。在中粗砂、砾、卵石地层中钻进,采用清水水压护壁,肋骨抽筒钻进,中冲程,回次进尺控制在1 m以内。

在大卵石、漂石地层中钻进,孔内严重漏水时,采用泥浆护壁,钻头冲击钻进。孔壁稳定时,采用高冲程,加大冲击力以捣碎或挤套较大的卵、漂石。孔壁不稳定时,可向孔内投入黏土球或优质泥浆护孔。遇有较大卵、漂石,钻进困难时,可采用孔内爆破法,加快施工进度。

(3)松散易坍塌地层中钻进　该地层的特点是极不稳定,钻进中易发生坍塌掉块,造成卡钻、埋钻等事故。因此,应采用泥浆护壁,泥浆黏度和相对密度要适当加大,以增大对孔壁的压力,形成良好的孔壁泥皮,防止浆液漏失。如果漏失严重时,可直接投入黏土球堵漏。钻进流砂层时,采用短冲程、短回次,适当控制钻具提升速度,防止孔内产生过大的抽吸力而造成孔壁坍塌。

(4)基岩裂隙地层钻进　在基岩裂隙地层中钻进,易发生坍塌,掉块,卡钻,夹钻事

故,如砂岩、石灰岩等。在该类地层钻进时,钻机安置平稳,钻头的悬距不要太大,冲击频率和冲击高度要适当,减少钻具抖动次数、摆动幅度,少碰孔壁。遇有漏水现象时,应不断向孔内注水,保持孔内一定高度的水柱;当漏失、坍塌、掉块严重时,可向孔内投入黏土球,堵塞捣实后再继续钻进。

五、空气钻进

以压缩空气代替钻进时的循环冲洗液,循环压缩空气一方面带走热量、冷却钻头。另一方面吹洗钻孔,把岩屑携带出地表。工艺先进、效率高,特别适用于干旱缺水地区、常年永冻层、孔内严重漏水地层中钻进,在北方省市、西北地区,空气钻进具有很大的现实意义。空气钻进在国外普遍使用,用于矿山开采、水文水井钻探、工程地质钻探等,我国目前处于研试阶段,获得了一定的钻进经验与效果。空气钻进特点:

(1)钻进效率高　其效率是一般钻进法的 9 ~ 11 倍。钻孔内没有循环冲洗液,孔底岩石不承受液柱静压力,处于一种负压效应状态,在切削具的碎岩作用下,岩石呈"爆炸"形式崩离岩体。另外,压缩空气高速吹洗孔底,孔内干净,岩屑不重复破碎,效率显著提高。

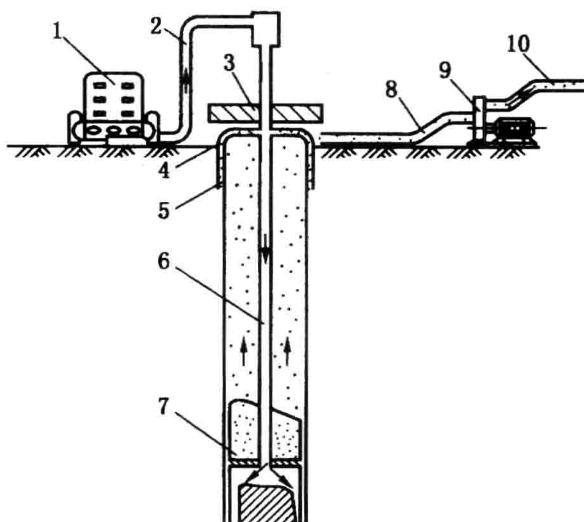
(2)钻头寿命长　其寿命是一般钻进法的 10 倍以上。当压缩空气流经钻头时,空气压力骤然降低,能大量吸收热量,快速冷却钻头,防止烧钻。

(3)空气钻进以空气为循环介质,不污染岩石和孔壁,在后期洗井、抽水实验时,清孔洗孔工作量少,而且获取的水文地质资料准确可靠。

(4)空气钻进不用水,节约水资源。

1. 空气钻进设备

在其他钻进设备基础上,增加 1 台移动式空气压缩机、孔口防尘及除尘设备(如图 13-10 所示)。



1 – 空压机;2 – 送风管;3 – 转盘;4 – 孔口密封装置;5 – 孔口管;
6 – 钻杆;7 – 粗径钻具;8 – 吸尘管;9 – 吸尘器;10 – 排尘管

图 13-10　空气钻进

2. 空气钻进工艺

空气钻进可分为:干空气钻进、泡沫钻进、泡沫泥浆钻进、充气泥浆钻进4种钻进方法,采用正循环钻进,也可以采用反循环钻进。

(1)干空气钻进　主要适用于完全干燥无水地层和含水量较少能被气流吸收的基岩地层或第四系覆盖层。在完全无水地层中钻进,当孔底岩石所承受的压力等于压缩空气柱的压力与钻孔内岩屑总质量之和时,返回到地表的岩屑为粉尘状,此时钻进速度最优,经济效果最好。此时孔底压力远低于用冲洗液钻进时压力的几倍到几百倍。

空气钻进技术参数包括:钻头压力、钻头回转速度、空气量和空气压力。

钻头压力和回转速度:空气钻进无液体浮力,孔内钻杆承受较高的静载荷和动载荷,在深孔中尤其突出。因此,空气钻进压力不宜过高,应比冲洗液钻进低1/3~1/2,干空气钻进压力一般控制在$(12 \sim 200) \times 10^7$ Pa范围内。

因为没有冲洗液润滑,钻头回转阻力加大,回转速度不宜过快。一般在松软地层中,回转速度为80~160 r/min,坚硬地层中,回转速度为30~80 r/min。

空气量:空气量与钻杆直径、孔径、孔深、钻进效率有关,钻进越深、钻进效率越高,所需空气量越大。一般钻进时,空气量为6~9 m^3/min。

空气压力:空气压力与孔深、孔径、钻进效率有关,一般在中、浅孔中,压力控制在7×10^5 Pa以内,深孔所需压力可达十几个大气压力。随着钻孔深度的增加,空气密度和岩屑质量随之增加,孔内压缩空气的压力值必须保持一定水平,环状间隙空气上返速度达到一定值时,才能有效地排除岩粉。空气上返速度为15 m/s,当钻速超过15 m/h以上时,上返速度应提高到20 m/s,才能及时有效地将孔内岩屑带出地表。

另外,需要指出的是:在钻进过程中,空气压力能帮助操作人员随时判断孔内情况。如孔内压力突然增高,说明孔内可能出现掉块、坍塌、岩粉过多,或进尺太快,岩粉堵塞。如空气压力突然降低,可能发生钻具折断或接头处漏气等现象,应及时提钻处理。

空气钻进所用钻头与冲洗液钻进基本相同,采用硬质合金钻头、钢粒钻头、牙轮钻头、气动冲击器。

(2)泡沫钻进　孔内渗水较多,又不能被压缩空气吹干,干空气钻进遇到困难时,采用泡沫钻进。泡沫是水与泡沫剂的混合物,通过压力泵以雾状喷入到压缩空气气流中,送到孔底。该方法具有较大的携带岩屑能力,但所需空气量约增加30%左右。

(3)泡沫泥浆钻进　钻进破碎地层、稳定性较差的地层时,采用泡沫泥浆钻进。泡沫泥浆是一种比较稳定的“泥浆包气”乳化剂,由泥浆添加剂和泡沫剂配制而成。使用时在足够的空气量中,喷射少量的稀泥浆,空气与泥浆的配比为1/100~1/300,避免干空气钻

进时,孔内坍塌、掉块、以致无法钻进。特点:钻速高,所需空气量少,在水敏地层效果较好。

(4)充气泥浆钻进　钻孔内出现涌水,空压机风量不足,不能把孔内水柱吹出地表,或钻孔内出现漏失严重时,采用充气泥浆钻进。充气泥浆由空气与泥浆组成。状态稳定、质地均匀。进入到孔底后,降低钻孔内泥浆柱的密度,保护孔壁,减少孔内循环液漏失。

六、气动冲击器钻进

气动冲击器钻进是以压缩空气作为循环介质,压缩空气驱动孔内冲击器产生冲击力的一种冲击回转钻进,习惯上称为潜孔锤钻进。气动冲击器即为潜孔锤,其钻具组成基本同液动冲击回转钻具,即钻机通过钻杆对孔底钻具施加钻压和转速。同时,空压机通过钻杆向孔底潜孔锤供气,产生连续不断的冲击,对孔底岩石破碎,实现冲击回转钻进。该方法可用于不取心全面钻进,也可用于取心钻进。这种钻孔方法不但具有空气冲孔和液动冲击回转钻进的一般特点,而且还具有如下特点:

(1)冲击功大,以冲击碎岩为主,钻进效率高,是钻进坚硬岩层、卵砾和漂砾层的有效方法。潜孔锤的单次冲击功一般可高达数百至1000焦耳以上,以冲击碎岩为主,在石灰岩和花岗岩中钻速分别可达20~40 m/h。气动潜孔锤钻进被视为提高坚硬岩层、卵砾和漂砾层钻进效率最有效的方法。

(2)空气上返流速高,孔底清洗净,钻头冷却好,钻头寿命长。钻杆与孔径配比适当,空气在环状间隙上返流速在15 m/s以上,确保了孔底岩屑及时排出孔口。同时,压缩空气以超音速通过钻头喷嘴,其体积骤然膨胀并吸收热量,而后沿环状间隙返回地面,对冷却钻头和延长钻头寿命十分有利。

(3)气动潜孔锤钻进要求钻压小,转速低,扭矩小,明显减少钻杆折断和磨损,钻孔防斜和保直效果好,并可用于水平孔和斜孔的施工。

(4)气动潜孔锤钻进,遇到潮湿层和含水层时,采取泡沫钻进或雾化钻进。备有逆止阀结构的潜孔锤可用于有地下水的井孔及水域施工。

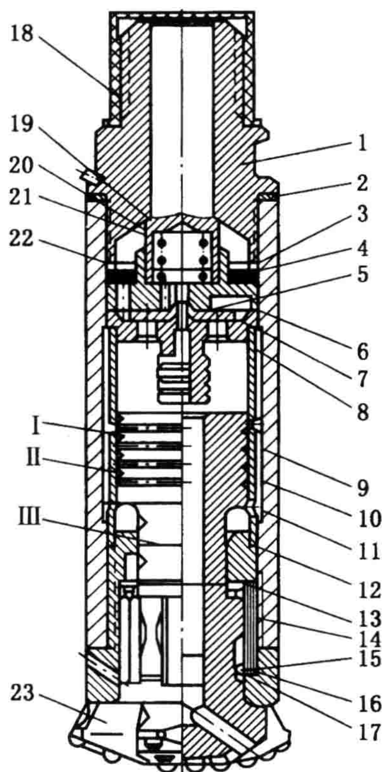
(5)多工艺钻进,具有广泛的适应性。气动潜孔锤与多种钻具适当组合,可实现多工艺钻进,如反循环钻进,跟管钻进,取心钻进,中心取样钻进,扩孔钻进等。若将多个潜孔锤(3~8个)组合在一起,构成捆绑式潜孔锤,可用于大直径井孔施工。

(6)钻进时的噪音随孔深增加而下降,地面粉尘可通过孔口密封与集尘装置有效控制。因此,各指标均能符合要求。

1. J系列气动冲击器

该系列型号有:J-80、J-100、J-150、J-200、J-250,应用比较广泛,属中心排气阀式冲击器(如图13-11所示)。

冲击器工作时,压缩空气由接头2压开止逆阀19进入缸体分为两路,一路直吹排粉气路,经活塞9的中孔通道,吹洗孔底岩屑,另一路进入阀片7的配气机构,使阀片翻转,实现上、下进排气转换,推动活塞往复运动。活塞的冲击动作通过钻头传给孔底岩石。



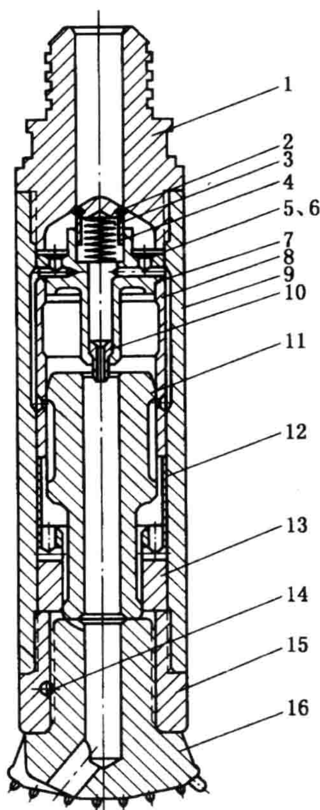
1－螺纹保护套;2－上接头;3－调整垫圈;4－碟形弹簧;5－节流塞;6－阀盖;7－阀片;8－阀座;9－活塞;10－外缸;11－内缸;12－衬套;13－柱销;14－弹簧;15－花键套;16－钢丝;17－圆键;18－密封圈;19－止逆阀;20－弹簧;21－磨损片;22－配气杆;23－钻头;Ⅰ－防空打孔;Ⅱ－内外缸环形腔;Ⅲ－衬套沟槽

图13-11 J系列潜孔冲击器

2. W型无阀式冲击器

该系列型号有:W－150、W－200,属中心排气无阀式冲击器(如图13-12)。

压缩空气经上接头1,止逆阀4进入进气座7的后腔,然后压气分两路前进,一路经进气座7和喷嘴10进入活塞和钻头的中空通道,在孔底冷却钻头和喷吹岩屑,另一路进入内缸8和外缸9之间的环形腔,位于进气室的压气,经气缸的径向孔以及活塞上的环形槽进入前腔,推动活塞开始返回行程。



1 – 上接头;2 – 密封圈;3 – 弹簧;4 – 止逆阀;5 – 垫圈;6 – 密封垫圈;7 – 进气座;8 – 内缸;9 – 外缸;10 – 喷嘴;11 – 冲锤;13 – 隔套;13 – 导向套;14 – 圆键; 15 – 下接头;16 – 钻头

图 13-12 W-200 无阀式冲击器

第二节 水井成井工艺

通过钻进形成井身以后,还必须通过一系列的成井工艺流程,才能使水文地质勘探钻孔和水源开发水井成为完整有用的水文勘探孔或供水水井。成井工艺是水文水井钻探的重要组成部分,成井工艺的成败直接关系到水文水井钻探工作的成败,这也是与其他地质钻探的重要不同点。成井工艺的目的,就是通过井管安装(下管),封孔止水,填砾,洗井,抽水试验等工艺过程,使水文地质勘探钻孔达到地质勘探的设计目的和要求,使水源开发井成为质量良好,符合设计要求长期供水的水井。钻进过程中,为地质目的或工程技术要求而下的中间井壁管及其相应开展的封孔止水工作也属于成井工艺范畴。

下井管是成井的第一个工艺流程。下井管前,必须对钻孔(井)进行检查,换浆洗孔,具体要求如下:

(1)确定含水层位置。用丈量钻具的方法严格测量井孔,确定含水层位置,防止因井深误差导致下入井管后,滤水管与含水层错位。

(2)检查井孔壁是否圆滑、规整,防止井管遇阻,造成下管事故。探孔器直径应与井孔直径相同。

(3)换浆洗孔。将钻杆下入井内接近孔底,用水泵压入稀泥浆(黏度为16~18 Pa·s),自下而上逐渐替换井内稠泥浆,直到返出泥浆的黏度与稀浆的黏度相近时,换浆工作结束。在换浆时,要不断清除返出泥浆中的岩屑,并随时测试返出泥浆的黏度。

换浆不彻底时,井内泥浆黏度比较大,含砂量高,井壁泥皮较厚,井底残留少量钻屑。如下入井管,过滤器的缝隙和网眼容易被封堵。填砾时,砾料在下沉过程中容易黏滞在孔壁泥皮上,造成中途堵塞。洗井时也比较困难,出水量相应减少。

(4)检查设备、工具。下管前,认真检查井管、钢质井管、铸铁井管,要用柴油或汽油清洗管端丝扣和堡箍丝扣,丝扣的松紧要逐根调整。混凝土管、石棉水泥管等井管,要检查管口是否平整,管身有无裂纹。还必须对钻塔、钻机离合器、升降机制带、游动滑车、钢丝绳、钢绳卡等仔细查验,查点包扎材料(竹片、铅丝、棕皮等)和黏结剂是否齐全。

(5)井管丈量与编号。丈量井壁管和过滤管,并编号排序。调整井壁管的长度,必须使过滤管与含水层部位对应。

一、下井管

井管是下入孔内的井壁管、滤水管和沉砂管的总称。井管是地下水进入水井和在井内流动的通道,也是用以封孔的主要器材,井管对水文水井质量有着十分重要的影响。

(一)井管的种类

1. 井壁管

按材质,井壁管可分为钢管、铸铁管、非金属材料管。

(1)钢管　水文地质勘探和水源开发用水井,普遍应用钢管,钢管可分为无缝钢管和螺纹焊缝管。直径在325 mm以下者采用无缝钢管,直径325 mm以上的大口径孔多采用焊缝管。无缝钢管采用管螺纹或矩形螺纹(方扣)连接,直径325 mm以上的大口径无缝钢管或管壁很薄无法车扣的无缝钢管也采用电焊连接。焊缝管多数采用电焊连接。钢管强度高,适应范围广,操作、运输均较方便,但钢管成本高,抗外挤能力较低。水文地质勘探孔临时下井管材大部分均要回收,而钢管便于起拔、回收,连接和运输也较方便。

(2)铸铁管　在第四系浅井和中深井中,常采用铸铁井壁管。铸铁管抗拉强度低于钢管,但抗外压能力和抗腐蚀能力均高于钢管,而且相同质量时,铸铁管的成本较钢管低。虽然铸铁管的加工、运输和下管工作均较钢管困难,但因其成本低,仍能得到广泛应用。

(3)非金属材料管　非金属材料井壁管种类繁多,如水泥石棉管、玻璃钢管、硬塑料管等。一般只在第四系浅孔或社会服务性水文水井中,才采用水泥石棉管。它的优点是耐腐蚀,抗外挤能力强;缺点是运输、下管均较困难,而且作为滤水管,其孔隙率一般也较低。

2. 滤水管

按材质不同滤水管可分为无缝钢滤水管、铸铁滤水管、非金属滤水管(如水泥石棉滤

水管、塑料滤水管、玻璃钢滤水管)等;按滤水通道类型分为圆孔骨架滤水管、条缝骨架滤水管、缠丝滤水管、包网滤水管、缠丝包网滤水管、贴砾滤水管等。滤水管的类型选择主要依据水井含水层的岩性情况,以能有效地挡住砂及进水阻力,尽可能小为原则。

(1)圆孔骨架钢管滤水管(如图 13-13 所示) 以无缝钢管或焊缝钢管作主体,在钢管上按一定方式均布滤水圆孔。特点:强度较高,容易加工制作,下管和运输也较方便,其孔隙率(即单位长度滤管上滤水圆孔总的截面积与管表面积之比)容易达到设计要求。圆孔骨架钢管滤水管主要用在基岩深水孔的出水段(抽水试验段)或观测段,另外也常作为其他类型滤水管(如缠丝管、包网管等)的骨架管。

(2)条缝骨架滤水管(如图 13-14 所示) 沿钢管轴线方向加工出一定宽度和长度的条缝。因条缝的宽度和长度可调范围大,故此种滤水管可适用于不同的岩层,应用范围广。条缝管的孔隙率达 30% ~40%。条缝可用车铣、气割等方法加工,但过窄的条缝加工困难。

(3)缠丝钢管滤水管(如图 13-15 所示) 它的骨架管用圆孔滤水管或条缝滤水管,在圆孔钢管或条缝钢管外面沿轴向垫钢筋,外缠镀锌铁丝。

(4)包网钢管滤水管 骨架管用圆孔筛管或条缝筛管,管外轴向垫钢筋。然后,包裹一定网目的网布。网布种类很多,常用的有尼龙网布、镀锌铁丝网布、不锈钢网布等。网布外每隔 30 ~50 mm 用铅丝扎牢。包网滤水管较多用在水文勘探临时观测孔中。

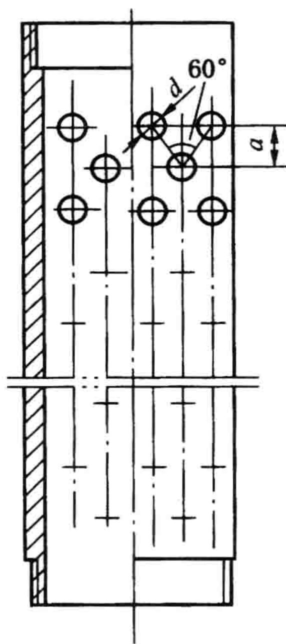


图 13-13 圆孔骨架钢管滤水管

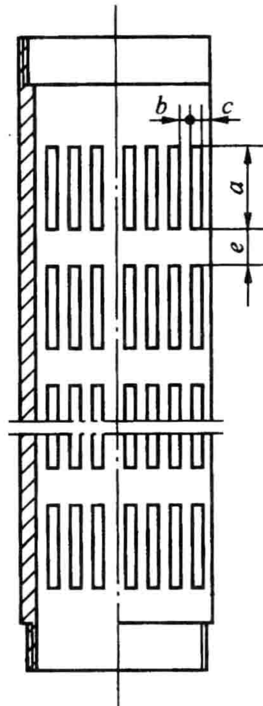
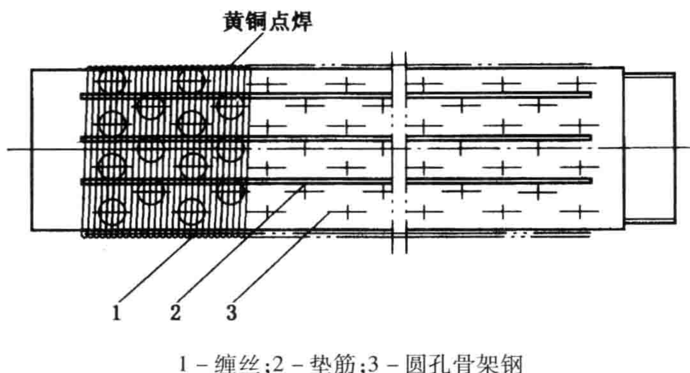


图 13-14 条缝骨架滤水管



1－缠丝;2－垫筋;3－圆孔骨架钢

图 13-15　缠丝钢管滤水管

(5)贴砾滤水管　用打孔钢管或打孔塑料管作为骨架管,将一定粒度的粒料(如石英砂)和石膏、化学黏结剂按一定比例混合,黏贴在管外。待干燥后用溶解剂溶去石膏,即形成有一定孔隙度的贴砾滤层。在较薄的滤水层,使用贴砾滤水管,达到相当于填砾层厚 75～100 mm 的作用,且透水性好,挡砂可靠,省去填砾,简化了成井工艺,钻孔直径可比普通填砾法小,成本较低。因此,贴砾滤水管近年来得到广泛的应用,特别是在难于投砾的深水井中,贴砾管更为方便。由于贴砾管抗弯、抗震动能力差,因此运输和使用中必须严格防止贴砾层崩落。下管时,地面连接长度不宜太大,以免因自重弯曲造成贴砾层脱落。井身质量差、井内情况复杂时也应慎用。

滤水管参数包括滤水管的长度与孔隙率。滤水管的长度依据含水层的厚度确定。对于抽水孔,当管径、滤水孔孔隙率确定后,还要根据允许的进水速度和管内水垂向流速对滤水管长度进行校核。对于水文勘探观测孔,滤水管长度可小于含水层厚度,以能准确反映目的含水层水位变化为标准,但最少应下到可能的最低水位以下 2～5 m。对于特厚含水层,滤水管可小于含水层厚度。

滤水管的孔隙率按滤水通道类型确定。圆孔滤水管的孔隙率一般在 15%～30%之间,圆孔直径不宜太大,一般取 10～20 mm。孔隙率过大会降低滤水管的强度,圆孔直径过大会影响挡砂效果。条缝式滤水管,条缝常采用顺轴向规则排列,缝长 150～300 mm,条缝宽度由含水层砂砾直径决定,条缝宽约占 50% 砂砾直径的 1.5～2 倍,常用宽度为 2～5 mm。缠丝滤水管的缠丝间距与含水层砂砾筛分 10% 的粒径相当。过小的缠丝间距离加工制作困难,常用的缠丝间距为 1～1.5 mm。外部包网时,缠丝间距可适当放大。

(二)井管的安装

成井钻孔经换浆洗孔,最大程度清除掉井壁泥皮,使含水层的岩性孔隙与裂隙恢复初始状态,并且精确测量出含水层的位置后,应立即下井管。

下井管方法有多种,施工中应根据井深、井管的材质、起重设备的提吊能力来选择下井管的方法(如表 13-2 所示)。

表 13-2　井管安装方法

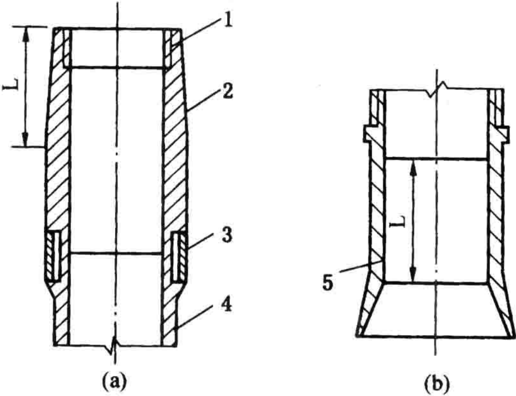
<table>
<tr><th colspan="2">井管安放方法</th><th>安放深度/m</th><th>适用的管材</th><th>优缺点</th></tr>
<tr><td colspan="2">升降机提吊下管法</td><td>200</td><td>钢管、铸铁管、塑料管等</td><td>安全可靠. 下管深度受钻塔负荷、井管抗拉强度以及钢丝绳强度、卷扬机提升能力影响</td></tr>
<tr><td colspan="2">钻杆托盘下管法</td><td><200</td><td>各种管材</td><td>安全可靠,下管深度除受提升设备影响外。还受钻杆强度及管材的抗压强度影响</td></tr>
<tr><td colspan="2">二次下管法</td><td>300</td><td>各种管材</td><td>提吊设备受力减小. 但易出现对口错动事故</td></tr>
<tr><td colspan="2">钢丝绳托盘下管法</td><td><300</td><td>各种管材</td><td>对提吊设备要求不高,但井深时抽钢丝绳困难,注意人身安全</td></tr>
<tr><td rowspan="4">综合下管法</td><td>提吊浮板法</td><td rowspan="4">>300</td><td rowspan="4">金属管材</td><td rowspan="4">利用浮力减少井管的拉力,减轻提吊设备所受负荷。适用于 300 ~ 600 m。用其他方法有困难时,可采用此类方法</td></tr>
<tr><td>提吊浮塞法</td></tr>
<tr><td>钢绳浮板中兜法</td></tr>
<tr><td>钢绳浮板下兜法</td></tr>
</table>

1. 升降机提吊下管法

此法适用于钢管、铸铁管、塑料管等有足够抗拉强度的井管安装,下管方法与下钻具相同。根据井管的长度、设备的提吊能力,分为一次提吊下管法和二次提吊下管法。

(1)一次提吊下管法　适用于小于 200 m 的井管安装,且井管的总重力不超过自身的抗拉能力和设备的提升能力。

(2)二次提吊下管法　适用于大于 200 m 的井管安装。将井管总长分为两段,分两次提吊下入,两段井管在井内实施对接。下段井管的上端用管箍连接锥形短管,锥形短管上端通过反扣与钻杆相连。把下段井管下到井底后,拉直井管填砾,填砾达到一定高度后,正转钻杆,钻杆与锥形短管脱开。然后,提出钻杆,上段井管的下端连接导向喇叭管。当上段井管下入后,短管锥面 L 正好套入喇叭管内锥面 L,并压紧,实现两段井管井内对接(如图 13-16 所示)。



a – 下段井管锥形短管;b – 上段井管导向喇叭管

1 – 反丝;2 – 锥形短管;3 – 管箍;4 – 下段井管;5 – 导向喇叭管

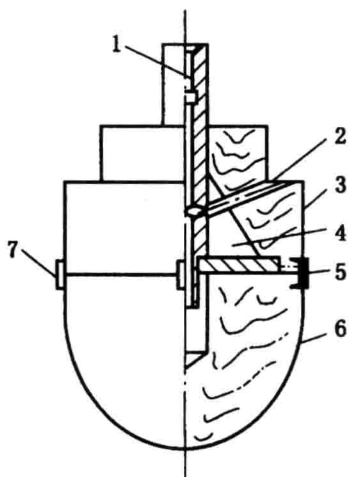
图 13-16　二次提吊下管接头

2. 钻杆托盘下管法

此法适用于抗拉强度低的水泥管、石棉水泥管的安装。根据井管长度、井管自重、钻杆抗拉能力、设备抗拉能力分为一次下管法和二次下管法。

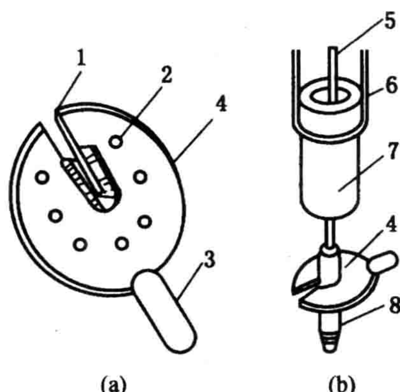
(1)钻杆托盘一次下管法　适用于长度小于200 m的井管安装。钻杆下端与比井管内径大的托盘连接,井管套入钻杆后坐在托盘上,提吊下入井内。

具体下管步骤为:①将一根比沉淀管稍长的钻杆通过反丝接头与托盘连接,沉淀管穿入钻杆坐在托盘上(如图13-17所示);②挂上提引器,用升降机将沉淀管提起下入井内,在井口叉好扇形垫叉;③再把穿入钻杆的第二根井管通过扇形垫叉固定下端,用升降机提至井口,如图13-18(a)所示;④用人力或钻机的副卷扬通过滑车和绳索吊起井管,使它和扇形垫叉分离,如图13-18(b)所示;⑤抽掉扇形垫叉,将钻杆与井内钻杆连接;⑥提升钻杆,使井内井管露出井口,在管端浇热灰砂沥青,并与被绳索吊起的井管相接。待黏合后,用一条涂有热砂沥青的塑料薄膜(或麻袋片、棕皮)在接口处缠绕数圈,将4~6根竹片均匀地绑在接口外壁处,用铅丝绑扎牢固,防止接口错位。灰砂沥青是用水泥、细砂、沥青和少许食盐配制而成的。



1－反丝接头;2－通水孔;3－木质托盘;4－加强筋;5－铁托盘;6－木质导正托盘;7－扒钉

图13-17　井管托盘



1－垫叉缺口;2－限位柱;3－垫叉把;4－扇形垫叉;5－钻杆;6－麻绳;7－井管;8－钻杆下接头

图13-18　钻杆托盘一次下管示意图

如此反复操作,直到下完全部井管。

(2)钻杆托盘二次下管法　此法适用于井深大于200 m的井管安装。将井管分为两级,第一级井管长度应大于第二级。

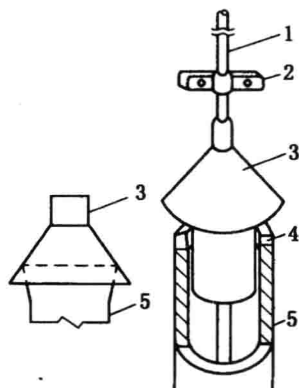
首先,在第一级井管上端用铅丝绑扎母对口器和井管扶正器,并在井管上部钻杆的适当位置安防砂罩及其固定器(如图13-19所示)。其次,按照钻杆托盘一次下管法下第一级井管,第一级井管放到井底后,将井内钻杆与机上钻杆连接,开动泥浆泵用优质稀泥浆冲孔并填砾。当砾料填至略低于第一级井管上端口时,停泵,正转卸开托盘反丝接头,上提钻杆。

当带出防砂罩后，钻杆不再上提，卸下防砂罩及其固定器，钻杆连接导正器、托管钩子(起第二级井管的托盘的作用)。托管钩子与捆绑在第二级井管下端的公对口器连接后，下入第二级井管。当两级井管的对口器在井内对接完成，填砾固定后，脱钩提出钻杆。

3. 钢丝绳托盘下管法

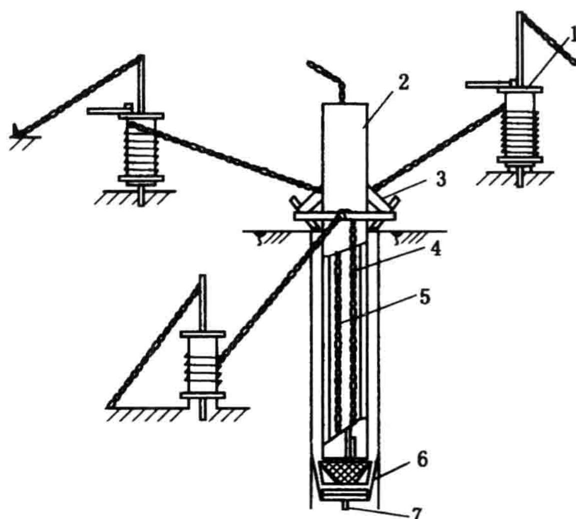
该方法设备简单，可进行人力下管，广泛用于混凝土井管、石棉水泥井管的安装。但施工时应特别注意人身安全。

钢丝绳托盘下管法如图 12-20 所示，用三根兜底钢丝绳取代钻杆提拉托盘，承受井管的全部重量。通过简易绞车下放钢绳，将井管一根接一根地下入井内。因兜底钢绳是通过连接心绳的销钉固定在托盘上的。所以，当把井管下到井底，经校正无误后，固定管身，拉出销钉便可将兜底钢绳取出。



1 – 钻杆；2 – 防砂罩固定器；
3 – 防砂罩；4 – 母对口器；5 – 井管

图 13-19 防砂罩及其工作示意图



1 – 绞车；2 – 井管；3 – 井架；4 – 吊重钢丝绳；
5 – 中心绳；6 – 托盘；7 – 销钉

图 13-20 钢丝绳托盘下管法示意图

二、填砾

填砾指在滤水管与含水层孔壁之间，填入直径大于含水层砂粒的砾石，形成人工过滤层。这些砾石填料，经过洗井和抽水试验后，有规律地进行排列，由滤水管向含水层方向砾料逐渐由大变小，减少了进水时的水头损失，可增大单井出水量。人工过滤层的形成，起挡砂滤水作用，延长水井使用寿命。

填砾工作必须在下完井管后立即进行，如拖延时间过长，易造成孔壁坍塌、涌砂、缩径等现象，严重时会造成钻孔报废。砾料必须一次投完，不能中途停歇，以免造成砾料分选或孔壁坍塌。

1. 砾料的选择

砾料的规格、形状和材质，直接影响人工过滤层的透水性和井水中的含砂量。

(1)砾料规格　砾料直径为含水砂层粒径 6 ~ 10 倍时，填砾层的滤水性能最佳，涌砂最低，能取得最大出水量。当比值过大时，虽然渗透性能好，但挡砂作用差，水中含砂量大，细颗粒易堵塞间隙；比值过小时，挡砂作用好，但砂层中的细砂会堆积在砾料周围，增加进水阻力，渗透性能差。砾料必须进行筛选，清除较大直径的砂粒杂物等，然后再用水淘洗，清除细泥。砾料规格如表 13-3 所示。

表 13-3 砾料规格

含水层	颗粒筛分结果		填砾规格	
	颗粒/mm	百分比/%	直径/mm	厚度/mm
卵石	>3	90	不填砾或 4 ~ 6	
砾石	>2.25	85 ~ 90		
砾砂	>1	80 ~ 85		
粗砂	>0.75	70 ~ 80	4 ~ 6	75 ~ 100
	>0.5			
中砂	>0.4	60 ~ 70	3 ~ 4	75 ~ 100
	>0.3		2.5 ~ 3	
	>0.25		2 ~ 2.5	
细砂	>0.2	50 ~ 60	1.5 ~ 2	100 ~ 150
	>0.15		1 ~ 1.5	
粉砂	>0.1	50 ~ 60	0.75 ~ 1	100 ~ 200

(2)砾料材质与形状砾料　材质以坚硬、不易被腐蚀的石英砂砾最佳。砾料形状为浑圆状，浑圆状砾料具有较高的透水性和阻挡砂砾的能力。棱角状人工碎石，易使井水中含砂量增加。

2. 填砾厚度及高度

填砾厚度一般为 75 ~ 100 mm，厚度越大，出水量越大。

填砾高度应超过含水层顶板，一般要求超过含水层顶板 3 ~ 5 m。若被开采含水层靠近咸淡水界面时，填砾高度要低于咸淡水界面 5 m 以上，防止因洗井、抽水实验后砾料密实下沉造成填砾高度不足。

开采两个相邻含水层，且两个含水层相距在 15 m 以内时，应在两个含水层之间填入不同的砾料，中下部(约为全段的 4/5)填入与下含水层相同规格的砾料，上部(约为全段的 1/5)填入与上层含水层相同规格的砾料。如两含水层相距超过 15 m 时，则下部 12 m 高度孔段填入与下含水层相同规格的砾料，上部 3 m 填入与上含水层相同规格的砾料，中部孔段可填入不合规格的砾料。

3. 填砾方法及注意事项

(1)先冲后填法　填砾前先进行彻底换浆，同时全部砾料运至孔口，做好备料工作。投砾时速度应慢，并要沿着井管周围均匀填入，使砾料顺畅进入滤水管底部。随着填砾

数量的增加,管内水位逐渐上升,并高出孔口管外流。孔内砾料不断升高,滤水管外露长度逐渐减短,则孔口返水流量由大逐渐变小,流速由急变缓,随着填砾把滤水管全部埋没后,管口停止返水。

填砾时要注意观察孔口返水的变化,借以判断砾料在环状间隙内是否迅速下沉畅通无阻,滤水管是否被堵塞。若孔口返水突然消失或变小,可能是砾料中途遇阻堵塞,一般采用在井管内提水,使地下水流动,促使砾料下沉;或在井管内采用拉活塞的办法,使井管外的液柱振动,促使砾料下沉。也可采用下钻杆透穿堵塞砾料层的办法处理砾料堵塞。

(2)边冲边填法　下井管工作结束后,将钻杆下入管内,密封管口开泵送水。在泵压下,水穿过滤水管,进入井管与孔壁的环状间隙,并返回孔口流出。然后边送水,边投砾料,随着砾料不断填入,水泵的压力将逐渐升高。当砾料面超过滤水管后,蹩泵现象加剧,准确测出围填高度。

这种填砾方法因有水循环,减少了砾料中途堵塞的机会。同时,还可以使混入砾料中的杂物,如草、泥皮、砂土等随水排出孔外。

(3)边抽边投法　边从井管内抽水,边在井管外部投砾,这样砾料充填较密实,还可将孔底岩屑及浓泥浆抽出地表,有利于填砾及洗井工作。当出水量突然变小时,说明砾料已全部埋没了滤水管,填砾工作即告结束。

三、止水

止水指对目的含水层以外的其他含水地层或非含水层进行封闭与隔离,防止目的含水层受到干扰或污染。止水工作完成后,才能取得可靠的含水层水位、水量、水质、水温及岩层的渗透系数等资料,能够有效封闭有害含水层,防止地表水与地下水串通,保证井水不受污染。有时为了合理利用地下水,需要分层开采,也需要进行止水工作。因此,止水工作是水文地质钻探工作的主要质量指标之一。

根据钻孔施工目的不同,进行不同位置的止水工作。对观测孔,应在观测层与非观测层之间进行止水;对水文抽、压水试验的钻孔,应在试验层与非试验层之间进行止水;对供水井,应在开采层与非开采层之间进行止水。

1. 止水材料

水文地质钻孔和供水钻孔一般均采用套管隔离的方法进行止水,即用止水材料封闭套管与孔壁之间的间隙。选用的止水材料必须经济、耐久、可靠,供水钻孔不能选用对水质有污染的材料。

常用的止水材料有下列几种:

(1)水泥　水泥具有良好的隔水性,能在水中硬化,并且与孔壁岩石有一定的胶结力,是一种很好的止水材料。

(2)黏土　黏土在地下水承压不高,流量不大的松散地层或基岩中作止水材料。其操作方便,成本低,止水效果可靠。将黏土搓成直径 30 ~ 40 mm 的小球,阴干后投入孔内,投入厚度一般为 3 ~ 5 m。

(3)桐油石灰　桐油石灰具有良好的黏性、塑性、不透水性,取材容易,成本低廉,是

一种良好的止水材料。适用于松散地层及基岩钻孔中止水，对不规则孔壁和发育小裂隙的孔壁，桐油石灰能挤进孔壁裂隙起到止水作用。

桐油石灰的配制与使用：生石灰加水分解成熟石灰后，用50～70网目的筛子过筛。把桐油加热至250℃，桐油表面呈枇杷色时，将桐油与石灰按比例加入碓臼中冲捣。一般桐油与石灰之比为1∶3～1∶1.5，桐油含量越大，黏性和可塑性随之增加，但干固时间延长。冲捣时间越长，石灰捣得越细，油灰的黏性和塑性越好。冲熟的油灰断面光滑，细腻，能用手搓拉成很长的细条，在水中长时间浸泡不松散。冲制时间不足的油灰，遇水石灰膨胀，使整个油灰松散成豆腐渣状。为增加桐油石灰的强度，可在油灰中加一定量的麻刀、废棉丝、羊毛等纤维物质。一般加入量为油灰质量的2%，在油灰中加入白芷、陀杉、土子等中药，可增强油灰与孔壁的黏合力，一般加入量为0.5%。

(4)海带　海带遇水膨胀，4h趋于稳定，体积增大3～4倍，压缩后不透水、气，是临时性止水材料，多用在松散地层与基岩钻孔，要求钻孔直径应比止水套管大2～3级。先将海带编成密实的辫子，缠绕在止水套管外壁上，形状似枣核状，长度一般为0.5～0.6 m，海带束外部再包一层塑料网或纱布等，两端用铁丝扎紧。为防止海带束下管时向上滑动，应在海带束上端的套管上，焊4条钢筋起阻挡作用。海带止水最大优点是起拔套管时，海带容易破坏，减少了拔套管阻力。

(5)橡胶　橡胶止水一般适用于较完整的基岩孔或探采结合孔的管内止水，在松散地层中也可使用。将橡胶制成一定几何形状，如胶球、胶圈、胶囊等，固定在止水管外部。经充水、充气等方法使之膨胀，将止水管与孔壁环状间隙封闭，达到止水目的。

2. 止水方法

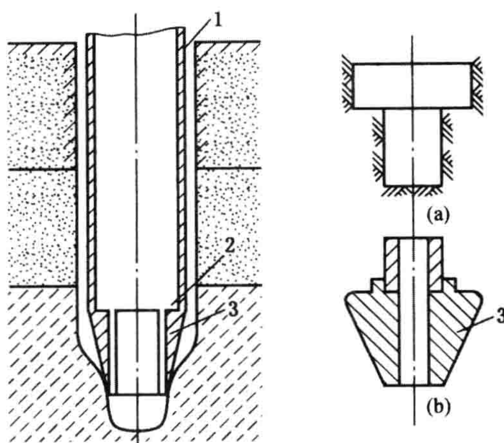
下入套管前，首先要准确掌握隔水层的厚度和深度，选择合适隔水层作为止水位置。隔水层厚度应大于5 m，且分层准确、隔水性能好，该处孔径较规整。其次，要丈量下入孔内的管材，保证止水器能准确地放在止水位置。检查止水套管的所有连接处，必须密封，可用缠棉丝、涂油或沥青等封严，防止接头漏水。然后，要做好探孔工作，排除孔内障碍，保证不致因杂质混入止水器影响止水质量。下入套管时，操作应平稳，套管上带有止水物时，严禁上下串动。若中途遇阻，可将止水套管提出孔口，查明原因，排除后再下入孔内。异径止水时，套管应坐在完整岩石上，如无台阶或在破碎地层同径止水时，套管应在孔口夹牢，以防止套管下滑或坠落。凡是不需要拔出套管的钻孔，止水物上部必须围填到孔口为止。对临时性止水，为便于起拔套管，必须在止水物上部环状间隙内灌满优质泥浆，再将孔口封严，以免从孔口掉入杂物。

止水有效期应保证在观测或抽水试验过程中有较好的止水效果，开采孔的止水效果应保证长期可靠。

止水方法有：托盘止水、围填止水、下塞止水、胶塞止水等。

(1)托盘止水法　用于临时性止水，适用于在钻进时，分层观测水位和分层抽水试验。该方法有上托盘止水法与下托盘止水法两种形式。

上托盘止水法：将止水材料如海带、橡胶、桐油石灰等，包缠在变径接头上，上下两端用细铁丝或麻绳扎牢，防止下管时中途脱落。将此变径接头下至孔内变径台阶处，通过套管自重或孔口加压，托盘压挤止水材料，止水材料填堵止水套管与孔壁环状间隙，达到止水目的(如图13-21所示)。



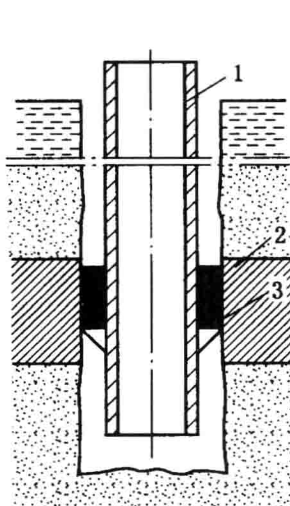
a－变径接头;b－托盘

1－止水套管;2－变径接头;3－止水物

图 13-21　上托盘止水法

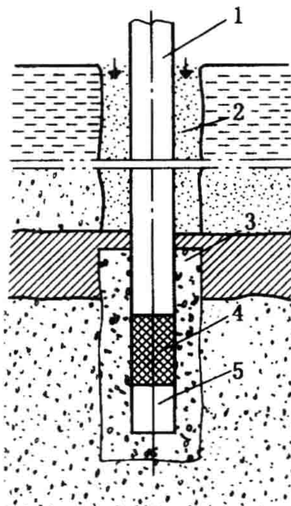
下托盘止水法:将托盘接在套管底部,下入孔内止水部位,套管在孔口用夹板固定。从孔口投入黏土球或桐油石灰球,落在托盘上。投入速度不宜过快,以防中途堵塞,每投 1～2 m 时,用平底工具捣实一次,直到止水物厚度达到要求(如图 13-22 所示)。

(2)黏土球围填止水法　适用于松散地层大口径孔、长期观测孔、抽水试验孔。利用黏土球止水经济、效果好,使用广泛。围填前,用提筒或活塞提拉洗井,使砾石填实压紧。围填时,直径不同的黏土球混杂投入,投入速度不宜过快,以防中途堵塞。在投的过程中要经常测量孔深,如发现中间架桥,要及时处理。投球结束后,再投入 1～2 m 黏土碎块,遇水溶化后充填在黏土球间隙中,增强止水效果。投入黏土球必须揉实、风干(如图 13-23 所示)。



1－止水套管;2－止水物;3－托盘

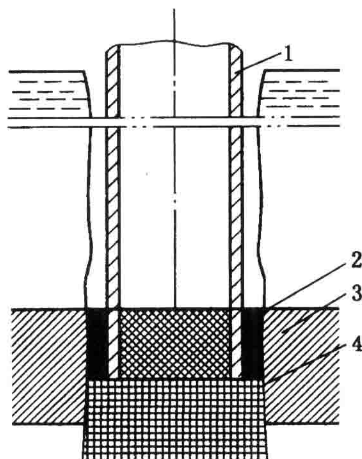
图 13-22　下托盘止水法



1－井管;2－黏土球;3－砾料;4－滤水管;5－沉淀管

图 13-23　黏土球围填止水

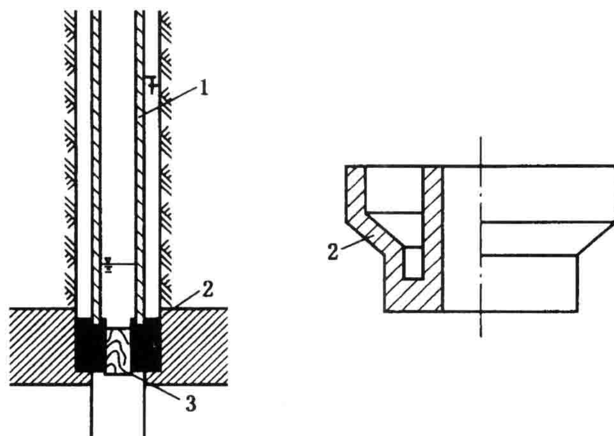
(3)下塞止水法　适用于第三、四纪地层止水,止水物可用黏土、桐油石灰或水泥浆。止水物从孔 1: 3 投入或采用专门工具送入或泵入。压实后,下入底部带有木塞的止水套管,压挤止水物填堵环状间隙,达到止水目的。止水工作结束后,再钻透木塞(如图13-24所示)。



1－井管;2－止水物;3－木塞;4－架桥物

图 13-24　下塞止水法

(4)胶塞止水法　胶塞止水适用于基岩地层,止水孔段位置选择在完整基岩中,变径台阶要平整。将胶塞套在止水套管的底端,外面用铁丝扎牢,下端内楔入木塞,使胶塞的内圈紧压于套管内壁上,胶塞在套管自重作用下,挤压在变径台阶上,达到止水目的(如图 13-25 所示)。



1－止水套管;2－胶圈;3－木塞

图 13-25　胶塞止水法

3. 止水效果检查

常用压差法、食盐扩散法检查止水效果。

(1)压差检查法　首先测得止水管内外的稳定水位,然后从止水管内抽水降低水位,造成止水管内外水压差达到一定值,稳定 30 min 后,测量管外水位,水位变化幅度不超过 0.2 m 时,则止水效果符合要求。该方法常用于抽水试验钻孔。

(2)食盐扩散检查法　先测定地下水的电阻率,然后将 50 kg 食盐溶化在 1 m^3 的水中,再将此食盐溶液倒入止水管与井壁之间的环状间隙内。2 h 后再测定管内地下水电阻率,若与未倒入食盐溶液时的电阻率相差不大时,止水效果符合要求。

四、洗井

为清除钻进过程中孔内残余岩屑、含水层孔壁泥浆,抽出滤水管周围含水层中的泥土、粉砂、细砂,疏通水路增加出水量,在完成下管、填砾、止水工作后,应立即进行围填,进行洗井工作。做好洗井工作,还可以在滤水管周围形成一层由粗到细的良好的人工滤水层,以增大滤水管周围的渗透性能,使其达到应有的出水量和使用寿命。长时间搁置会导致井壁泥皮硬化,造成洗井困难。

洗井前应做好下面几项工作:做好孔口围填工作,在洗井过程中发现围填物下沉,应立即进行围填补充至井口。检查洗井用的钻具,要连接牢固,以防钻具脱落。活塞洗井时,下降速度要适当,钢制井管内壁光滑、强度大,下降速度可高些;铸铁管、金属管强度低、内壁粗糙,活塞上下速度应适当降低,一般提升速度应控制在 0.6 ~ 1.2 m/s。

1. 洗井质量标准

(1)孔口排水的水质符合含水层中固有的成分,水虽浑浊,但不是泥浆岩屑或钻粉等污染物质时,洗井完成。

(2)每半小时观测一次出水量,连续 2 ~ 3 次出水量无明显变化时为止。

(3)经过 2 次或 3 次降深,单位涌水量无反常现象。否则,应重新洗井。

(4)与附近抽水孔涌水量资料对比,基本近似。

2. 洗井时间

洗井时间的长短取决于多种因素,颗粒越粗,孔隙率越大,泥浆的渗透范围越大,洗井所用时间也越长;颗粒细小,孔隙率小,泥浆渗透范围也就小,洗井所需时间可短些。另外洗井时间长短还受钻进中使用冲洗液的性能,滤水管的结构,钻进时间的长短及采用的洗井方法等因素影响。

3. 洗井方法

洗井方法很多,在选择洗井方法时,应考虑含水层的结构,地下水头压力,井管材料,孔身结构等。常用的洗井方法有以下几种:

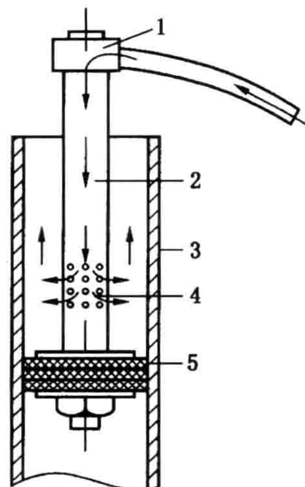
(1)活塞洗井法　在重力作用下,活塞迅速下降,活塞下部的高压水流通过滤水管、砾料层冲向孔壁,破坏孔壁泥皮。当活塞突然上提时,活塞下部孔段造成局部负压,含水层中的地下水迅速流过砾石层,进入滤水管内,使井壁泥皮再次受到破坏。活塞不断地上下运动,形成反复的抽压,达到洗井目的。在此过程中,一方面含水层中的细砂及泥浆被抽吸出来,另一方面砾料定向有规律排列,在滤水管周围形成一层良好的人工过滤层。

活塞洗井成本低,效果好,适用于中砂以上的含水层。但要求井管强度高。

活塞洗井法分为:钻杆提拉下压洗井法,钢丝绳提拉法,抽拉洗井法(如图 13-26 所

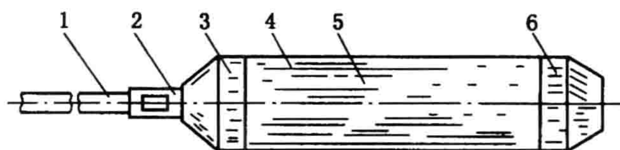
示)。抽拉洗井法,一边用空压机通过钻杆向孔内送气抽水,一边提拉活塞,抽拉同时进行,将泥浆及时排出孔外。适用范围广,配合化学洗井,效果更好。

(2)冲孔器洗井法　将冲孔器送入孔内含水层部位,开泵压入清水,冲孔器喷射的高压水流破坏孔壁泥皮,达到清除孔内泥浆的目的(如图13-27所示)。



1－水龙头;2－钻杆;3－滤水管;
4－混合器;5－活塞

图13-26　抽拉洗井



1－钻杆;2－接头;3－异径接头;4－冲孔器
5－喷水孔;6－不通水异径接

图13-27　冲孔器

(3)液态二氧化碳洗井法　向孔内灌入的液态二氧化碳吸热气化,体积膨胀,产生的气体压力冲击含水层内的孔隙水或裂隙水。同时,推动孔内水柱上升,并喷出地表。井喷后孔内水位迅速降低,孔内是负压状态时,在地层压力作用下,含水层内的孔隙水或裂隙水携带大量细颗粒岩屑、裂隙充填物及孔壁泥皮等涌入孔内,并随着井喷后期被排出孔外,清除了岩层孔隙或裂隙中的沉积物或充填物,疏通了水流通道,增大钻孔出水量。

一般多用在第四系粗颗粒地层及基岩裸眼孔,裂隙含水地层。在石灰岩地层,可先注入盐酸,静待一定时间后,再灌入液态二氧化碳。盐酸压入到岩层孔隙或裂隙深处,起到溶解岩石扩大裂隙的作用。

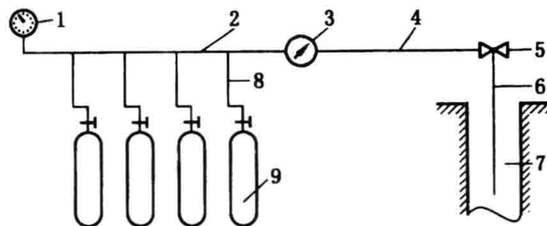
操作方法与注意事项:

装有液态二氧化碳的钢瓶,通过高压软管连接在管汇上,管汇一端装压力表(0～100 atm),另一端接孔内输送管道(如图13-28所示)。安装完毕后,打开总阀门和钢瓶阀门。液态二氧化碳涌入孔内,在较短时间内就产生井喷。井喷后立即关闭总阀门,切断液态二氧化碳的输出通道。反复进行井喷2～3次后,开动空压机抽水排除孔内杂物。

使用该方法要特别注意人员和设备安全,钢瓶必须符合有关国家规定,搬运时要防止冲撞,存放地点要防止暴晒,以免发生危险。各管道要确保密封,不得有泄漏现象。钢瓶和操作人员,必须离开孔口20～30 m等。

(4)空压机振荡洗井法　一般先用活塞或化学药剂对孔壁壁泥皮进行初步处理,然后采用空压机向孔内间歇地猛烈喷射高压空气,造成孔内的水位剧烈振荡,破坏孔壁泥

皮并促使管外天然过滤层的形成。此法可用在任何井管和孔径内。



1－缠丝;2－垫筋;3－圆孔骨架钢

图 13-28　缠丝钢管滤水管

(5)抽灌洗井法　先抽出孔内的水,并把抽出来的水经过净化沉淀后再灌回孔内。这样,抽水与压水交替进行,比单纯抽水洗井效果更好。多用于基岩裸眼孔。

第三节　水文地质钻孔(井)抽水试验

抽水试验是水文地质勘探和供水水井施工中的一项十分重要工作。抽水试验是以地下水井流理论为基础,在实际钻孔中抽水和观测,取得水文地质数据,求得含水层和越流层的水文地质参数,达到水文地质勘探的目的或为供水水源开发提供依据。

抽水试验的成果,反映钻孔达到水文地质勘探设计的完善程度和供水水井供水的能力。它是水文地质勘探的最后阶段,是移交水井供水的重要依据。所以,抽水试验的质量直接影响着一个钻孔的成果。

一、抽水设备

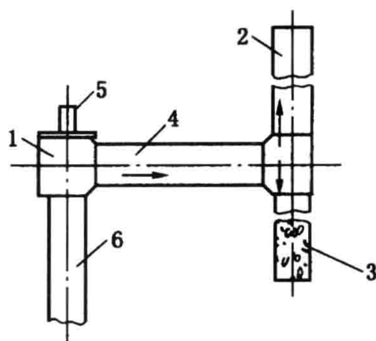
根据抽水试验的方法和要求,选择抽水设备和组织抽水施工。水文地质勘探常用的抽水设备有空气压缩机、潜水泵、深井泵、离心泵、提桶等。

1. 空气压缩机

空气压缩机是水文地质钻孔抽水试验最常用的设备,工作安全可靠、孔内无运动部件,易于维护保养,运输方便,不受水质浑浊,井管弯曲的影响。不足是效率低,出水量不均匀,成本高。

(1)工作原理　空气压缩机排出的压缩空气,经过送风管进入孔内,通过混合器进入出水管。在出水管内,压缩空气与地下水混合形成相对密度较轻的气水混合物,在气举作用下,气水混合物沿着出水管迅速向上运动。最后,从孔口不断排出。

(2)安装和使用　主要指送风管与出水管的安装和使用。送风管下部接气水混合器。混合器的出气孔直径一般为 5 mm,出气孔的总面积为送风管截面积的 3 ~4 倍,长度一般为 1.5 ~2 m。送风管上端与空压机送风胶管连接。出水管上端出口处安装分离气水三通(如图 13-29 所示),以减少水的冲力,便于测量涌水量。送风管和出水管在孔内的安装方式有同心式和并列式两种。

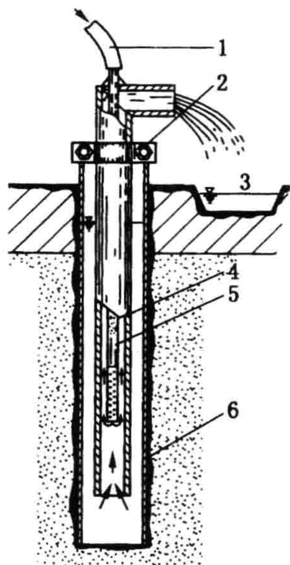


1 - 三通;2 - 排气管;3 - 排水管;4 - 连接管;5 - 风管;6 - 扬水管

图 13-29　分离气水三通

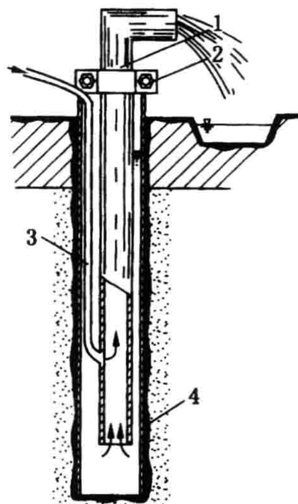
同心式安装方式(如图 13-30 所示)用提吊下管法将出水管下到孔内动水位深处,在水位深、水量大的浅井,出水管可下到动水位以下 20 m 处。出水管下完后用夹板固定在孔口,然后将送风管下到出水管内。下入深度应比出水管浅 3 ~5 m,以防空气从出水管底部泄漏。同心式安装效率较低,但井孔断面利用合理,多用于小口径钻孔抽水。

并列式安装方式(如图 13-31 所示)将送风管和出水管并列安装在井管内,出水管和送风管通过一个特制接头连接在一起。用提吊下管法将出水管和送风管同时下入孔内,下入深度与同心式相同。并列式安装抽水效率高,要求孔径较大,适用于大口径钻孔抽水。



1 - 送风胶管;2 - 套管夹板;
3 - 水池; 4 - 出水管;5 - 风管;6 - 井管

图 13-30　同心式抽水示意图



1 - 出水管;2 - 套管夹板
3 - 风管;4 - 井管

图 13-31　并列式抽水示意图

2. 潜水泵

潜水泵由立式电动机和立式离心泵直接组装在一起,全部潜入水中工作的泵,具有

结构简单、安装方便、质量轻、流量大、扬程高等优点。但需用电力作动力,在无电源地区受到限制。

3. 深井泵

用于钻孔直径大,水位深,涌水量大的钻孔。一般扬程为70～80 m,最大可达300 m。泵体沉没于孔内动水位以下,动力机装在地表,用长立轴传动。井孔水质必须清洁,不能含有砂粒等。常用型号有SD型和JD型。

4. 离心泵

适用于地下水位较浅、涌水量小的钻孔,抽水深度一般不超过6～7 m。因其体积小,质量轻,结构简单,安装方便,出水量大且均匀,能抽泥砂浑水,被广泛使用。

5. 提桶

适用于地下水位较深,水量不大的钻孔,提桶抽水时,水位跳动较大,获得的资料可靠性差。因此,该法用在抽水试验精度要求不高的钻孔(如图13-32所示)。

二、测量水量、水位

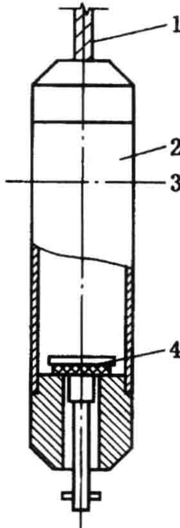
1. 测量水量

测量水量的工具有量水堰、量水箱、水表等,最常用的是量水堰。按堰口形状,量水堰分为三角堰、梯形堰、矩形堰3种。其中,以三角堰用得最多(如图13-33所示)。抽水时,井水首先注入堰箱,再经堰口流出。测量水量就是观察水流经过堰口时的高度,然后按下面的公式计算出涌水量。

$$Q=0.014H^2 \cdot \sqrt{H}$$

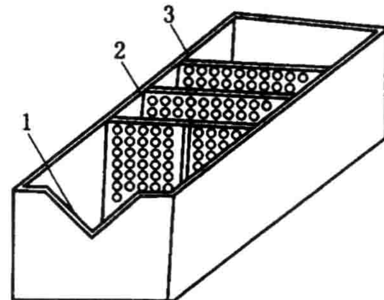
式中Q—涌水量,l/s;

H—水流经堰口时的高度,cm。



1－岩心管;2－活门;3－接头;4－顶钉

图13-32　提桶

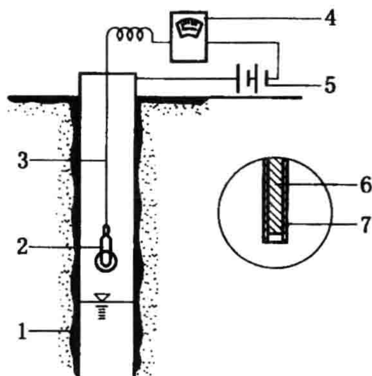


1－三角堰口;2－水位标尺;3－挡水板

图13-33　三角堰

2. 测量水位

测量水位的仪表有多种，常用电测水位计（如图 13-34 所示）。观测时，一极接到井管上，另一极利用一根金属棒（周围用绝缘胶布包好，下端外露）用绝缘导线下入井内。当电极金属棒下端与水接触时电路即为通路，电流表的指针就摆动。这时，就可以从带刻度的导线上读出水位的深度。



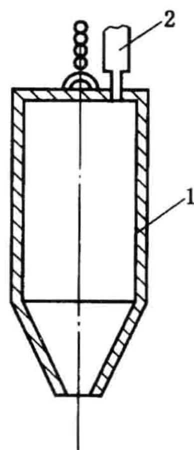
1－井管；2－电极；3－绝缘导线；4－电流计；5－电源；6－电极金属棒；7－绝缘胶布

图 13-34　电测水位仪线路示意图

3. 取水器

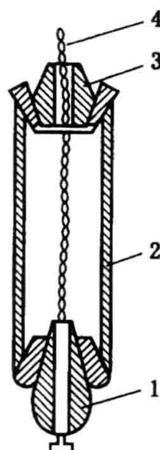
在抽水试验过程中，还须采取水样进行水质分析。孔内取水样的取水器有以下两种：

（1）虹吸取水器（如图 13-35 所示）　虹吸取水器适用于浅水位井中采取水样，上端连接长胶管，用绳下入孔内。取样时，先将胶管上端折曲，使管内空气排出，然后将取水器沉入水中，松开胶管，使水流入筒中，待水注满后提出。



1－圆筒；2－胶管

图 13-35　虹吸取水器



1－下锤；2－筒；3－上塞；4－钢绳

图 13-36　定深取水器

（2）定深取水器（如图 13-36 所示）　用钢绳将下锤放入取水位置，沿钢绳下放筒。

下锤为上小下大的锥体,筒上下都有密封垫,筒到达下锤后套在下锤上。再沿钢绳将上塞下入,上塞到达筒上端后将筒上口封闭。提出取水器,得到水样。

三、抽水试验的类型

按井流理论,抽水试验可划分为稳定流抽水试验与非稳定流抽水试验。稳定流抽水试验要求抽水的流量和水位降深都相对稳定,结果用稳定流的理论和公式来分析计算。适用于地下水补给条件好、水量充沛且相对稳定的地段。非稳定流抽水试验只要求流量或水位降深中的一个因素相对稳定,结果用非稳定流理论和公式分析计算。非稳定流抽水试验更接近自然界的实际情况,应用较广泛。

按参加抽水试验的孔数,抽水试验划分为单孔抽水试验、群孔抽水试验、孔组抽水试验。

1. 单孔抽水试验

只在一个钻孔中进行抽水试验,并且不带观测孔。单孔抽水试验方法简单、方便,但成果精度低,并且只适用于稳定流抽水,应用范围有限。多用于普查。

2. 群孔抽水试验

在一个钻孔进行抽水的同时,在距抽水孔一定范围内有一个或几个钻孔,作为观测孔进行水位动态观测的抽水试验。这种抽水试验得到的成果精度较高,能完成各项水文地质任务,但投入的人力、物力较多,主要应用于详查。

3. 孔组抽水试验

孔组抽水试验是由几个抽水孔组成若干孔组,每组均带有一定数量的观测孔的大型抽水试验。这种抽水试验观测孔多,分布范围广,一般要进行大流量、大降深、长时间的抽水,有时抽水时间长达一个月或几个月,形成一个大的人工流场,充分揭露勘探区的边界条件和区内的流场状况,取得完整准确的水文地质资料,为区域供水水源或地下水防治的技术设计和施工提供可靠的水文地质依据。孔组抽水试验,需投入大量的人力、物力,整个试验过程对抽水试验的技术、组织、设备等均要求严格。所以,必须慎重对待,适用于涌水量很大,边界条件不清,水文地质条件十分复杂的区域。

按抽水层段,抽水试验划分为分层抽水与混合抽水。分层抽水是对一个钻孔中的某一目的含水层进行抽水试验,要求对其他非抽水层段进行严格的隔离,抽完一层后,再对其他目的含水层进行抽水试验。分层抽水的顺序可自上而下抽,即正抽,也可以自下而上抽,即反抽。混合抽水试验是对暴露在同一个钻孔中的若干个含水层,同时进行的抽水试验,它所反映的是各含水层的混合出水状态。这种抽水试验只要求封隔非目的含水层,如有害含水层,比较简单、经济,但对各层的分层水文地质参数掌握不够。

根据抽水试验的目的与精度可分为试验抽水与抽水试验两类。试验抽水指在抽水试验前短时间内进行一次最大降深,目的是进一步清洗钻孔,检查抽水设备安装情况,获得初步水文地质评价依据。抽水试验是正式抽水试验,延续时间较长,要进行 3 次水位下降。

四、抽水试验

抽水设备安装完毕后，即可进行抽水试验。

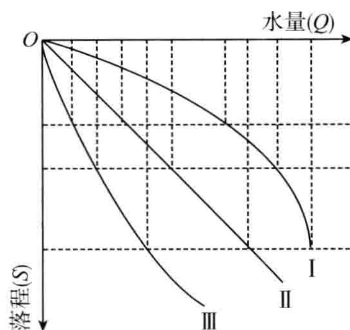
（一）落程

从钻孔中抽吸地下水时要引起钻孔水位下降，下降深度就叫做落程，通常以 S 表示。根据地质勘探设计要求的最大降深来决定 S 值。例如，设 S_3 为试验抽水时水位的最大下降值，则

上述公式并非严格固定不变，抽水时也可以采用其他落程，如 $S_1=4\ m$，$S_2=6\ m$，$S_3=8\ m$ 等。当 3 个落程的间距相近时，可以得出较典型的水位下降与涌水量关系曲线（如图 13-37 所示）。

水位下降值太小时，得出的涌水量偏大，小于 lm 的落程应尽量不用。落程的间距也应尽量避免小于 lm。水位下降值越大，所取得的抽水资料越准确。

$$S_2=S_3 \quad S_1=S_3$$



Ⅰ－潜水水量水位曲线；

Ⅱ－承压水水量水位曲线；

Ⅲ－试验进行不正确所得的曲线

图 13-37　水量、水位曲线图

（二）抽水试验的延续时间

抽水试验的延续时间一般取决于水文地质条件。富水地区的水位、水量易于稳定，在贫水地区就不易稳定。如水位、水量容易稳定，则延续时间就可以短些；反之就需长些。目前一般的延续时间如表 13-4 所示。

表 13-4　抽水试验延续时间表

含水层岩性	砂层	砂砾石层	砾石砂土层
延续时间/h	12 12 24	8 8 16	24 24 48

（三）抽水中的观测工作

抽水试验中的观测工作包括：观测静止水位、动水位和恢复水位，观测水质、水量、水温和气温等。

1. 水位的观测

（1）水位的观测应以一固定点为零点进行观测，抽水之前应先观测静止水位。

(2)静止水位应采用试验抽水后的恢复水位。

(3)开始时,抽水试验观测时间的间隔为 1 min,3 min,5 min,10 min,15 min, 30 min。水位稳定后,每隔 30 min 观测一次。

(4)水位稳定标准:一般水位上下波动误差不超过落程的 1%,即为稳定。

(5)恢复水位的观测时间间隔为 1 min,3 min,5 min,7 min,10 min,15 min。待水位恢复到接近静止水位并等待 30 min 以上无变化时,可结束观测。

2. 水量的观测

(1)抽水过程中在观测水位的同时,也要观测水量;

(2)水量稳定标准:一般误差不超过涌水量的 3%,即为稳定;

(3)堰箱安放要平稳,以免影响堰口水头高度,造成计算涌水量的误差;

(4)观测水量的位置要固定。

3. 水温的观测

(1)水温最好是在钻孔内观测,如不能在钻孔内观测,也可在堰箱中观测。

(2)水温、气温要同时观测,观测的时间间隔为 1 h。

(3)观测时必须将温度计放入水中,10 min 以后才能取出读数。抽水试验进行过程中因故障停车时,必须观测恢复水位,记录停车时间。水量突然变化时,要详细记录,并找出变化原因,及时采取措施。

(四)采取水样

在抽水试验中除求得钻孔的涌水量之外,还要取水样进行水质分析。

1. 化学分析时对取水样的要求

(1)水样应在抽最大落程水位稳定后采取;

(2)进行简易分析时要取 500 mL,进行全分析时取 2000 ~ 3000 mL;

(3)进行特殊项目分析时取 3000 mL,另取 500 mL 加固定剂侵蚀性 CO_2,取 250 ~ 500 mL 加入大理石粉($CaCO_3$)$_3$ ~ 5 g;

(4)取水样前应将水样瓶用清水洗净。水样不应装得过满,要留有 3 ~ 5 cm 的间隙。装瓶后立即封闭。瓶塞子应采用玻璃或橡皮材质,禁止以他物代用;

(5)取水样后必须填写标签,写清编号、取样地点、日期、水温、气温及取样人的姓名等;

(6)取测量硫化氢(H_2S)的水样时,应先加入 3 ~ 5 g 醋酸溶液后,再密封;

(7)取含酚水样时,应加入硫酸铜($CuSO_4$)稳定剂;

2. 粗菌分析时对取水样的要求

(1)取水样前应到卫生部门索取用来取细菌分析水样的高温消毒瓶;

(2)取水样时应先将瓶子放入水中后,再打开瓶盖,装满水后,盖好瓶盖再拿出水面;

(3)取完水样后应尽快地送到化验室位进行化验。在放置或运送时应尽量避免强烈振动和日晒;

3. 气体分析时对取水样的要求

(1)避免水样与空气接触;

(2)取水样方法:用一根细管一端接在水泵的出水口上,另一端插入瓶子底部,待水充满并由瓶口溢出一定量后,迅速取出管子进行密封;

(3)气体分析最好在现场进行,否则应尽快送到化验单位。

五、增加出水量的措施

钻孔成井后,在抽水试验过程中,有时会出现与附近水井相比,出水量明显减少,与有关资料差距较大的情况;或水井投产使用一段时间后,水量逐渐减少,甚至不出水,严重影响地下水正常开采。研究影响井孔出水量的因素,并采取适应措施提高井孔出水量十分必要。

1. 影响井孔出水量的因素

影响井孔出水量的因素分为自然因素与人为因素两类。自然因素指含水层富水性以及所处的水文地质条件,如含水层的补给能力,渗透性能,厚度及水位埋藏深度等。人为因素指工艺、设备、技术等方面,具体表现在:

(1)滤水管选择不合理　滤水管是地下水进入井内的通道,有关滤水管的类型、直径、长度、孔隙率等都将直接影响出水量。当滤水管类型选择不当时,将造成孔内涌砂、滤水孔被堵塞或淤塞等现象。当滤水管直径过小,长度短,孔隙率低时,出水量将明显减少。

(2)填砾对出水量的影响填砾级配不合理,砾料规格过大　滤水管安装偏靠井筒一侧,使滤水管外围填砾厚度不均,甚至一侧没有砾料;或填砾速度过快中途被堵,在滤水管外围形成没有砾料的空段,出现这种非正常现象后,抽水时,细砂进入井内,造成水井下部淤塞,而影响出水量。

(3)下管工艺对出水量的影响　由于下管操作不当,造成井管接头错动,井管脱节或破裂,滤水管过滤网破损;焊接井管时由于焊接的不正,造成井管弯曲,给下管,填砾,洗井等工序造成困难,使出水量受到影响。

(4)钻进工艺及泥浆对出水量的影响　在第四系松散地层钻进,由于钻进工艺技术参数掌握不当,造成钻进或扩孔时间过长,并在钻进或扩孔中使用了劣质泥浆,使黏土颗粒大量渗入扩散到含水层缝隙,降低了地下水向井内渗透能力,使水井出水量受到影响。

(5)使用期的影响　长期使用的开采井,由于溶洞、裂隙被砂土或其他物质充填,堵塞;过滤网眼或缠丝间隙被砂粒、黏土堵塞;地下水矿化度高,水质不良,含有对井管腐蚀的元素或物质,都会使水井出水量减少或不出水。

2. 增加出水量的措施

常用孔内爆破与酸化处理两种方法增大出水量。

孔内爆破增大出水量:裸眼井孔为基岩裂隙水,由于钻进工艺不当,含水层的溶洞、裂隙被充填或堵塞,导致水井出水量减少。可在主要含水层孔段,采用爆破法,使含水层的裂隙扩大,增多,延深,与远处裂隙沟通,扩大和疏通含水层的通道,增大水井出水量。

孔内爆破后，要用活塞、空压机、二氧化碳等方法进行洗井，以排出孔内堵塞物。孔内爆破有一定的危险性，必须有专人负责指挥，严格遵守操作规程，确保人身、设备安全。

酸化处理增大出水量：在碳酸盐类（如石灰岩、白云岩等）的裸眼井中，若含水层的溶洞、裂隙被岩屑或其他物质填塞，造成水井水量减少时，使用酸化处理方法增大水井出水量。一般多采用盐酸配制酸液。处理完后，用活塞或空压机洗井，排出酸化反应的残余物。一般酸处理后，出水量可增加 2 ~ 3 倍。

复习思考题

1. 水文钻孔特点是什么？
2. 水文钻孔结构怎样？
3. 水文地质钻探设备有哪些？
4. 增加出水量的措施有哪些？

第十四章 大口径工程口工程孔施工

第一节 概 述

随着深层地下水的开发,水文水井的孔径越来越大,钻孔深度也越来越深,深水位大口径深水井的勘探和开发,对钻探技术的要求越来越高,并提出许多新的技术问题。通常把直径大于225 mm的钻孔称为大口径钻孔,大口径钻孔多用于水量大的水文勘探,探采结合的钻孔,以满足抽水试验和供水的要求。

一、大口径工程孔的特点

1. 孔壁的稳定性降低

钻孔孔径增大,孔壁的稳定性降低。原来完整的地层被钻开后,钻孔附近地层中的应力将重新分布。孔壁岩石失去支持,在上部岩层压力的作用下,会向井眼内移动,在上部岩层压力一定和岩性一定时,孔壁的径向位移与钻孔直径成正比。当孔壁岩石的位移超过岩石所能承受的变形极限时,岩石即发生崩坍破坏。钻孔直径越大,孔壁稳定性越低。对于松散层,由于钻井液的冲刷和渗透,随着孔径增大,其稳定性更差。

2. 洗井困难

随着孔径增大,破碎岩石量成倍增加,不仅钻进难度大,而且洗井更加困难。往往由于冲洗液返速不足,岩屑无法及时带到地面,致使发生埋卡钻等事故。

3. 成井工艺难度大

井管安装,封孔止水和停钻后的洗井工作,散层水井填砾段的填砾量与井径的平方成正比。

二、大口径孔钻探设备及其要求

随着孔径的增大,其难度相应增加。如使用的井管钢材将成倍增加。

(一)钻机

常用于大口径钻机有:转盘式回转钻机和全液压动力头式钻机两种。

1. 转盘式回转钻机

转盘式回转钻机有SPC,SPJ,SPS,红星系列,钻孔直径约150~500 mm,孔深100~600 m,钻杆直径60~114 mm,其中SPS型钻机孔深可达2000 m。以SPJ—300转盘式回

转钻机为例说明其主要技术参数:钻孔直径 500 mm,孔深 300 m,钻杆直径 89 mm,转盘转速 40 ~ 128 r/min,主卷扬机提升速度 2.08 m/s,抽筒卷扬机提升速度 1.44 m/s,钻塔 10.5 m,额定负荷 123.5 kN,总质量。

(二)泥浆泵

泥浆泵是钻机钻进时主要配套设备之一,其作用是将冲洗液送入孔内,冷却钻头,清洗孔底,排出岩粉、岩屑。钻探用泥浆泵有复式泵与螺杆泵两大类,复式泵应用较为广泛,常用类型为 BW, NBH 系列。在水文水井地质钻探中,常用 BW 系列型号有:BW—500, BW—600, BW—850, BW—1200,排量在 500 ~ 1200 L/min,泵压 1.2 ~ 5.0 MPa。AH 渣浆泵与 SPC—150 钻机配套使用。以 BWT—500 型号泥浆泵为例说明其主要技术参数:三缸双作用活塞泵,泵量在 350 ~ 500 L/min,泵压 1.2 ~ 2.0 MPa,活塞行程85 mm,往复次数 115 ~ 170 次/min,吸水管内径 89 mm,排水管内径 51 mm,总质量540 kg。

(三)水泵

水泵种类一般有离心泵、深井泵、潜水泵 3 种。

1. 离心泵

供吸送清水或物理化学性质类似于水的液体。离心泵有 B, BA, DA 等型号,流量为 4.5 ~ 360 m^3/h,扬程 9 ~ 351 m,输送液体温度不超过 80℃。

2B—31A 型离心泵:流量选用 10 m^3/h 时,扬程为 28.5 m,轴功率为 1.44 kW,电机功率 3 kW,效率 54.5%。增大流量时,扬程相应降低,轴功率,效率提高;转速2900 r/min;质量 37 kg。数字符号含义:数字“2”表示吸水口直径除以 25 的整数值(单位:英寸),“B”表示单级单吸悬壁式离心泵,“31”表示泵的扬程,“A”同型号泵换了小直径叶轮。

4BA—12A 型离心泵:数字“4”表示吸水口直径除以 25 的整数值(单位:英寸),“BA”表示单级单吸悬壁式离心泵,“12”表示泵的比转数/10,“A”同型号泵换了小直径叶轮。

4DA—8 × 9 型离心泵:数字“4”表示吸水口直径除以 25 的整数值(单位:英寸),“DA”,表示单级多吸分段式离心泵,“8”表示泵的比转数/10,“9”表示叶轮级数。

2. 深井泵

深井泵型号有 JD, J, SD 三种,深井泵是将深井中的水输送到的地面的设备,输送水不能含油,含砂量应小于 0.01%,中性,无腐蚀。泵为逆时针方向旋转,扬水管连接有法兰连接与螺纹连接两种。

4JD—10 × 24 型深井泵:流量 10 m^3/h,扬程 72 m,泵管放入井内最大长度 55.5 m,比转数 25,转数 2940 r/min,轴功率 3.38 kW,电机功率 5.5 kW,效率 58%,叶轮直径 72 mm。数字符号含义:数字“4”表示泵适用的最小井径,“JD”表示多级深井泵,“10”表示流量,“24”表示叶轮级数。

3. 潜水泵

用途及使用要求与深井泵相同,不同之处是电动机与泵整体下入水中。潜水泵结构简单,操作方便,无噪音。常用种类有 NJQ, QJ 型潜水泵。

250NJQ—75 型深井潜水泵：流量 50 m^3/h，扬程 75 m，叶轮级数 3，电动机功率 17 kW。输水管径 76 mm。数字符号含义：数字“250”表示最小井径，“N”表示农用，“JQ”表示深井潜水泵，“75”表示扬程。

第二节　大口径孔钻进工艺

施工大口径孔的水文水井钻机，除有与一般钻机相同的要求外，还应具备以下性能：

(1)转盘钻机　转盘钻机应有与所钻孔径和岩层相适应的较大的转盘扭矩，以及相应的转盘开孔孔径。立轴钻机则应有较大的立轴通径，以保证大径主动钻杆的使用。转盘亦可采用移开式，以便上、下大径钻头、钻具。

(2)提吊能力　大钻机应有与钻深、孔径相适应的较高提升能力。在设计水井提升能力时，除考虑大口径深水井钻进需使用的大口径钻杆和钻铤的质量因素外，还应考虑下大口径井管的能力，以及大口径深水井施工难度等许多复杂因素。因此，大口径水井钻机应有较大的超载能力。另外，水井钻机常用直径 89 mm 或 114 mm 的钻杆、120 ~ 198 mm 的钻铤，这些钻具单根质量都较大，提吊和甩放钻具应有专门的辅助设备，以减轻工人的劳动强度和提高生产效率。因此，应备有拧卸、提吊和甩放钻具的辅助设备及能力。

(3)足够的紧(卸)扣能力　大口径孔钻进需要的扭矩大，需要的紧(卸)扣扭矩也很大。许多水井钻机不具备足够的紧(卸)扣扭矩，造成使用大口径钻具的困难。理论上，卸扣扭矩约等于紧扣扭矩，但在实际钻进中，由于振动，冲击和瞬间大扭矩的作用，会使钻具丝扣继续上紧，有时由于丝扣间润滑不好还会发生黏扣。所以，实际卸扣扭矩要比上扣扭矩大得多。根据经验，卸扣扭矩是紧扣扭矩的 1.2 ~ 1.5 倍。卸扣中最大扭矩是开始松扣时的扭矩，松动后的旋转扭矩小得多。因此，可用大扭矩松扣，小扭矩旋转卸扣。

(4)较广的转速选择范围　现代钻井技术发展很快，各种先进的钻进工艺也应用于水文水井钻探。为了适应不同钻进工艺的要求，水文水井钻机应有较大的转速范围。例如，潜孔锤钻进需要低转速，而金刚石钻头钻进则需要高转速。

大口径工程孔施工采用回转钻进方法。按钻进地层可分为：基岩地层大口径回转钻进、第四系地层大口径回转钻进两种。

一、基岩地层大口径回转钻进

基岩地层结构致密，岩石强度、硬度和耐磨性比较大，一般采用大口径一次取心钻进。大口径取心钻进与常规孔径取心钻进没有本质区别，只是由于孔径增大，破岩环形面积增大，要求的钻进技术参数也相应改变。技术参数选择的原则与常规孔径相同，但大口径取心钻进要求钻压大，泵量大，钻进所需的扭矩也大。这就要求配备能力强的钻机和泥浆泵，并且应使用大直径钻铤和钻杆，大口径回转钻进分为合金钻进与钢粒钻进。

1. 大口径硬质合金钻进

适用在 4 级以下的岩层中钻进，钻进方法与常规口径基本相同，本节着重介绍“大口

径"采取的一些技术措施。

1)合金钻头

基岩地层大口径合金钻头钻进,由于阻力大,冲击振动加剧,故要求钻头具有较大的强度和耐磨性,钻头体采用DZ4050号钢,壁厚16～18 mm,厚壁无缝钢管。在破碎、裂隙及岩溶地层中钻进,采用大八角柱状合金,呈品字形密集式排列,防止合金崩刃。在塑性松软的泥岩、页岩等地层中钻进,采用加焊内外肋骨的直镶合金钻头,防止缩径、糊钻,以便于采取岩心。钻头水口一般按合金镶焊组数开4～8个,形状为三角形或梯形,高40～50 mm,宽30～40 mm。合金的内外出刃为1～2.5 mm,底出刃为2～3.5 mm,合金镶焊数量如表14-1所示。

表14-1　合金镶焊数量表

钻头规格/mm	密集式/颗	双品字形/颗	品字形/颗
225	12～20	36	18
280	16～24	36	18
335	20～28	36	24
385	24～32	48	—
430	48	—	

2)合金钻进技术参数

根据岩石性质、钻头结构、设备能力和钻具强度,合理地选择钻进技术参数。

(1)钻压　增大钻压能有效地提高钻进效率,但在大口径钻进中,钻压过大,容易导致钻杆折断,合金崩落,钻孔弯曲。因此,选用钻铤或厚壁钻杆,以利于加压。钻压以钻头上每一粒合金所承受的压力来表示(如表14-2所示)。

表14-2　不同地层每颗合金承受的压力

岩石性质	3～4级页岩或泥灰岩	5～9石灰岩	卵、砾石层
每颗合金上的力/N	500～600	700～800	600～700

(2)转速　常用转速一般为1.5～2.5 m/s,回转速度高,钻进效率高。但降低钻头的耐久性。

(3)泵量　泵量大能够有效地排除孔底岩粉,保持孔内清洁,防止埋钻事故,有利于提高钻进效率。但在岩层破碎,孔壁稳定性差时,应适当减少泵量,防止冲垮孔壁。

3)操作注意事项

(1)均匀加压。大口径合金钻具承受的总压力,扭矩都较大,骤然加压或忽大忽小,容易导致钻具弯曲,甚至折断。

(2)使用新钻头开始钻进时,要轻压,慢转,待钻进一段时间(15～20 min)后,逐渐增压,增速。

(3)缓提慢放钻具。钻进时无特殊情况,尽量减少提钻次数。

(4)由钢粒钻进换为合金钻进时,应捞净孔内的残存钢粒,防止残存钢粒挤夹钻具或崩落钻头上的合金。

(5)钻具应带取粉管,捞取岩、钻粉。取粉管一般长 1.5 ~2 m。

2. 大口径钢粒钻进

大口径钢粒钻进适应范围较广,在4级以上的岩石均可使用。由于钻杆与孔壁直径差大,产生较大的脉动冲击力,该力作用在回转滚动着的钢粒上,能有效破碎岩石(该力作用在合金钻头上,易造成合金钻头崩刃脱落)。孔径越大,钢粒越被压紧,碎岩效果越好。因此,钻机与钻具承受的负荷降低。大口径钢粒钻进,钻头与孔壁间隙大,较少发生卡、夹、埋钻等事故。但遇到破碎、裂隙地层时,钢粒容易漏失,钻进效率较低。

1)大口径钢粒钻头

钻头体硬度与耐磨性较高,一般钻头体硬度(HRC)在 20 ~30,低于钢粒,以便带动钢粒滚动。选用 DZ40 – 50 号钢作钢粒钻头,为把钢粒稳定地压于钻头底唇面,钻头应具有一定的厚度,一般为钢粒直径的 4 ~5 倍。

钢粒钻头水口一般多为单弧形,当钻头直径超过 335 mm 时,可开成双水口,水口高 200 mm,宽为钻头周长的 1/6 ~1/3。

2)大口径钢粒钻进技术参数

钻进技术参数的选择,对钻进效率,钻孔质量,钢粒消耗,施工安全等有直接影响,钻进前,应根据岩石性质、钻孔直径、钻孔深度、钻头水口、底唇面积、设备能力等条件合理选择各技术参数,并在钻进时及时调整不合适的参数值,保持高效,优质,安全地进行钻进。

(1)钻压　大口径钢粒钻进必须有足够的钻压。钻压不足时,钻头牵动钢粒滚动的啮合力不足,只能达到表面破碎,钻速低。钻压适当时,随钻压的增加,钻速提高。钻压过高时,易压碎钢粒,回转阻力增大,降低钻速。最优压力值应根据岩石性质、钢粒质量、钻头直径、钻头底唇面积、钻头水孔等因素合理确定,单位压力值在(20 ~40) 10^5 Pa 范围内,钻压参数的选择如表 14-3 所示。

表 14-3　钻压参数的选择

钻头直径		钻头水孔		钻头底唇面积	单位压力/Pa				
外	内	占圆周长比例	数量/个		20×10^5	25×10^5	30×10^5	35×10^5	4×10^5
					钻压/N				
225	193	1/3	1	70.04	14000	17510	21010	24510	28020
		1/4	1	78.79	15760	19700	23640	27580	31520
280	248	1/3.5	1	94.79	18960	23700	28440	33180	37920
		1/5	1	106.16	21230	26540	31850	37160	42460
385	349	1/5.5	2	132.07	26410	32020	39620	46220	52830
430	394	1/6	2	155.32	31060	38520	46600	54360	62190

(2)转速　增加转速,钢粒在孔底滚动的次数增多,破碎岩石越多,从而提高了钻进效率。转速的选择取决于岩石性质、钻孔直径、钻孔深度、设备能力等因素,岩石越硬,孔径越大,钻孔越深,转速越低;反之转速越高。大口径钢粒钻进圆周转速在 0.5 ~2m/s。

(如表 14-4 所示)。

表 14-4　转盘钻机转速与转数换算表

钻机型号	转数/(r·min^{-1})		钻头直径/mm				
			225	280	335	385	430
			中径周长/m				
			0.657	0.829	0.996	1.153	1.294
			转速/(m·S^{-1})				
SPJ～300	Ⅰ	40	0.438	0.553	0.664	0.769	0.863
	Ⅱ	70	0.766	0.967	1.162	1.345	1.510
	Ⅲ	128	1.402	1.769	2.125	2.460	2.761
SPC —300	Ⅰ	52	0.570	0.769	0.864	1.000	1.122
	Ⅱ	78	0.874	1.103	1.325	1.533	1.721
	Ⅲ	123	1.347	1.699	2.042	2.364	2.653

(3)泵量　根据岩石性质、投砂量、投砂方法、钻孔直径、水口大小合理选择泵量,一次投砂法钻进中调整泵量 1～2 次(如表 14-5 所示)。泵量不足时,不利钻头冷却,排除岩粉以及钻头唇面均匀布砂。

表 14-5　钻孔直径与冲洗液量关系

钻头直径/mm		225	280	335	385	430
冲洗液量/(L·min^{-1})	回次开始	90～130	110～170	130～200	150～230	170～260
	回次终了	70～100	90～130	110～170	130～200	150～230

(4)投砂量和投砂方法　根据岩石性质、钻头壁厚、钻孔直径、孔内残留钢粒等因素合理选择,一般多采用一次投砂法,在裂隙、破碎和岩溶地层,可多次投砂。钻进回次投砂量一般为 5～26kg,回次投砂量如表 14-6 所示。

表 14-6　回次投砂量表

岩石级别	K 值	钻头直径/mm				
		225	280	335	385	430
		回次投砂量/kg				
Ⅴ	0.05～0.06	5～6	7～8	8～10	10～13	12～14
Ⅵ	0.06～0.08	6～8	8～11	10～13	13～17	14～19
Ⅶ	0.07～0.10	7～11	9～13	11～16	14～21	16～23
Ⅷ	0.08～0.11	8～12	11～15	13～18	17～23	19～26

3)操作注意事项

(1)粗径钻具必须带取粉管,长度一般为 1.5～2 m,如果孔底岩、钻粉过多,则应专门捞取;

(2)回次终了提钻前,必须用大泵量冲孔,以排除孔内的岩粉、钻粉;

(3)随着时间的延续,要及时调整水量,并适当提动钻具,以保证孔底有足够的钢粒;

(4)每次提、下钻时,都要认真检查钻具的磨损情况,并应仔细检查钻头底唇面的研磨情况和岩心的形态,以确定下回次钻进技术参数;

(5)由合金改为钢粒钻进时,应选用旧钻头、小钢粒,少投砂、小泵量、低压、慢转,待钻进 1m 后,恢复正常钻进。

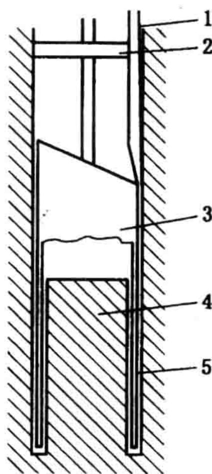
3. 取心方法

与常规口径取心方法基本相同。但在坚硬、完整地层,因口径大、岩心粗不易被扭断,给取心带来一定困难,采用常规取心方法难以奏效。同时,易造成卡钻,折钻事故。因此,应采取如下措施:

(1)尽量延长回次进尺　增加岩心长度,岩心管与岩心多次碰撞,岩心易沿节理处断开。然后,投入卡料卡牢,一般投入 2 ~3 kg 卡料。

(2)使用岩心楔断器　岩心楔断器用同径岩心管制成。下至距岩心顶部 0.5 m 时,猛松升降机,借助钻具自重冲力,楔断器楔入岩心与孔壁间隙中,多次冲击后,楔断岩心。再下入原钻具,投卡料卡牢取心。

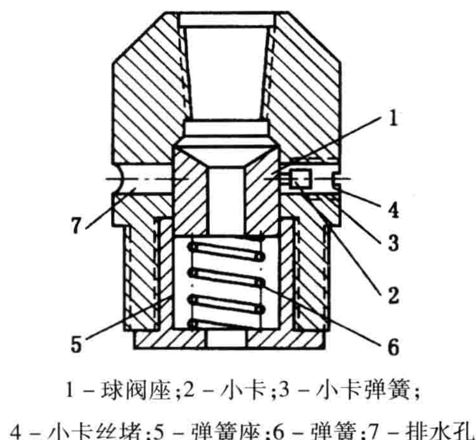
(3)使用铁楔断器　岩心未折断而造成卡钻事故时,使用铁楔断器如图 14-1 所示。铁楔断器用钻杆送至离岩心管顶端 0.5 m 处时,猛松升降机,铁楔断器借助冲力楔断岩心,岩心破裂,提出钻具。



1 – 铁楔;2 – 导向环;3 – 岩心管;4 – 岩心;5 – 卡料

图 14-1　铁楔断器

(4)使用投球式异径接头　投球式异径接头能防止提钻时钻具内液压压掉岩心,并避免拧卸钻杆时冲洗液四处喷射(如图 14-2 所示)。提钻前,向钻杆内投入钢球,开泵后,在水柱压力下,钢球迫使阀座 1 下降,当超过异径接头右侧小卡 2 后,小卡弹簧 3 伸入球阀座空腔,挡住球阀座使其不能上升。此时,钻具中的冲洗液从排水孔 7 流出。



1 – 球阀座;2 – 小卡;3 – 小卡弹簧;
4 – 小卡丝堵;5 – 弹簧座;6 – 弹簧;7 – 排水孔

图 14-2　投球式异径接头

二、第四系地层大口径回转钻进

根据机械设备能力和不同取心要求,第四系地层回转钻进可分为:小径取心钻进大径扩孔成井和大口径一次钻进成井。

1. 小径取心钻进大径扩孔成井

在常规口径钻进完成采心任务后,再按设计要求进行大口径扩孔,这种钻进方法称为小径取心钻进大径扩孔成井。该钻进方法具有钻孔质量高,施工进度快,有利于洗井等优点。在设备能力不足或岩心采取率要求高的钻孔中经常被采用。有关常规口径取心钻进不再重述,本节将着重介绍大口径扩孔钻进方法。

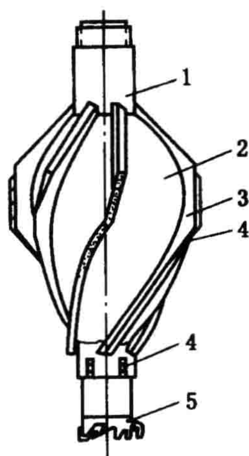
大口径扩孔钻进可分为一级扩孔和多级扩孔,扩孔的次数称为扩孔级数,每级扩孔所加大的径差称为扩孔级差。

一级扩孔是用小一级或两级的钻头取心钻进,终孔后再用大径扩到孔底,这种施工方法简单,不易产生孔斜,故在设备条件允许时应尽量采用一级扩孔,在松软地层效果好。多级扩孔是用小径取心钻进,终孔后分级逐级扩孔,该方法多在地层较硬,钻孔直径大,设备能力不足时采用。多级扩孔每级扩孔级差的大小,取决于设备能力和地层的可钻性,一般原则是:在设备能力允许,地层稳定性好时,扩孔级差可大些;反之应小。

(1)扩孔钻头 第四系黏土、砂类地层,常用的扩孔钻头多为翼片式,主要有以下几种类型:

①翼螺旋肋骨扩孔钻头 用直径 127 ~ 168 mm 的厚壁管作钻头体,在钻头体周围顺钻头回转方向,焊有 6 片呈螺旋形的翼片,在翼片之间焊有补强钢板。该钻头在钻进中,冲洗液在孔内产生强烈的旋涡,并对地层产生冲击和排挤作用。适用于黏土夹砾石和黏砂等地层(其结构如图 14-3 所示)。

②玉米式扩孔钻头　钻头体用直径 127 ~ 168 mm 厚壁管制成,在钻头体周围焊有 6 个翼片,翼片间焊有补强钢板,该钻头为锥形,钻进时阻力较小,对黏土夹卵、砾石地层具有强烈的冲击和挤压作用。



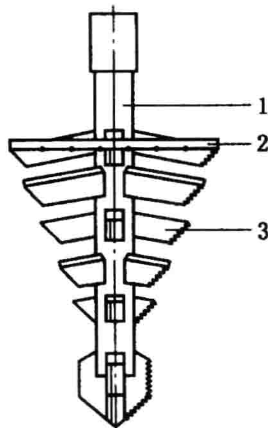
1－钻头体;2－护板;3－肋骨;4－硬质合金;5－螺旋肋骨钻头

图 14-3　翼螺旋肋骨扩孔钻头

③四翼阶梯肋骨式钻头　钻头体同上,在钻头体上焊一圆筒,在圆筒外侧对称地焊有 4 片阶梯形肋骨,该钻头呈阶梯形,增加了自由面,扩孔阻力小,钻具稳定性好,故在黏土、黏砂夹砾石地层中钻进,效率显著。

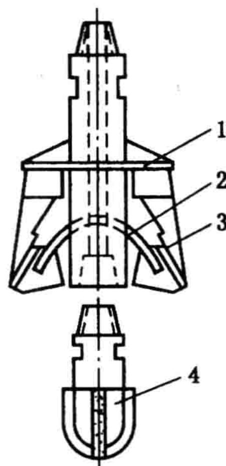
④分节翼片式扩孔钻头(结构如图 14-4 所示)　用直径 89 mm 的钻杆作钻头体,在钻头体上部焊有导正圈,导正圈下面互成 120°角的 3 个翼片组成一节,分 3～4 节共 9～12 个翼片。相邻两节翼片 60°角交错,翼片中心线与钻头体中心线夹角为 65°～70°,翼片间距视地层而定。由于分节翼片式扩孔钻头扩孔阻力大,提钻间距长,故要求粗径钻具连接牢固可靠,防止脱落或折断,一般采用长丝扣,电焊或法兰盘连接。

⑤牙轮扩孔钻头　新近发展的一种新型扩孔钻头,适应于第四系砾卵、漂石地层扩孔。直径 300～1000 mm,回转阻力小,孔壁圆滑,扩孔效率高(如图 14-5 所示)。



1－φ89 mm 钻杆;2－导正圈;3－翼片

图 14-4　分节翼片式扩孔钻头



1－上下接头与刀盘;2－水眼;3－组装刀具;4－导向接头

图 14-5　牙轮扩孔钻头

(2)扩孔钻具由于口径大、阻力大。所以,扩孔钻具在结构上应具备以下特点:

①扩孔钻具要有足够的连接强度:扩孔钻进提钻间距长,孔内阻力大。因此,要求粗径钻具及其连接必须牢固可靠,防止脱落或折断,一般用厚壁管作钻具,连接方式有螺纹连接,电焊及法兰盘连接。

②扩孔钻具必须连接导向装置:为使扩孔钻具回转平稳,减小扩孔阻力,防止出现螺旋形孔壁,可在扩孔钻头翼片上及离钻头 5 ~6 m 左右位置的岩心管或钻杆上,各焊一个小于钻头直径 4 ~10 mm 的导正圈,导正圈外周焊有硬质合金,以修刮孔壁。

③扩孔钻具下部必须带有小径导向:在扩孔钻头底部焊接比原小径孔径小一级的钻具,长度 300 ~500 mm,作为大口径钻具的引向,沿原小径钻孔扩孔。

(3)扩孔钻进技术参数合理选择是保证扩孔质量和提高扩孔效率的重要措施。扩孔钻进技术参数主要有:扩孔钻头类型、钻具强度和设备能力、扩孔级差大小、地层特性等(如表 14-7 所示)。

表 14-7 翼片式扩孔钻头扩孔钻进技术参数

名称	钻头总压力/N	转速/($m \cdot S^{-1}$)	泵量/($L \cdot min^{-1}$)
黏土类地层	5000—10 000	0.5 ~1.5	>400
砂类地层	3000 ~8000	0.4 ~1.1	>400

(4)扩孔钻进操作注意事项

扩孔钻进时应注意以下几方面:

①下钻前必须认真检查钻具,凡是弯曲和磨损严重的钻具,严禁下入孔内;各连接处必须牢固;一般要求每 24h 应提钻检查一次,不合要求的钻具应及时更换。

②扩孔压力要均匀,防止压力忽大忽小,造成螺旋形孔壁,影响扩孔质量和进度;在黏土层中扩孔可适当提动钻具,以防糊钻和堵塞;在砂层中扩孔则不宜提动钻具,以免造成超径现象。

③要切实保证水泵工作正常和泥浆性能稳定,扩孔时应由专人监视水泵的工作情况,经常注意返浆的大小,要及时清理泥浆循环系统,发现水泵排量不足时,绝不能使用,要及时检查修理。

④为防止孔斜减小阻力,应在离钻头 5 ~6 m 左右位置的钻杆上,加焊一个小于钻头直径的导正圈,并在钻头底部焊接比原小径孔小一级的钻具,长度为 300 ~500 mm,作为大口径钻具的引向。

⑤扩孔前应充分做好准备工作,使扩孔能连续进行。如遇特殊情况必须停钻,应将钻具提出钻孔,以免造成坍塌埋钻和缩径夹钻事故。

⑥为防止工具等掉入孔内,要安装好孔口板,孔口板要用厚 10 mm 以上钢板制成。

2. 大口径一次钻进成井

对取心要求不高,设备能力允许的情况下,采用大口径一次钻进。它可分为:大口径不取心全面钻进与大口径取心钻进。

1)大口径不取心全面钻进

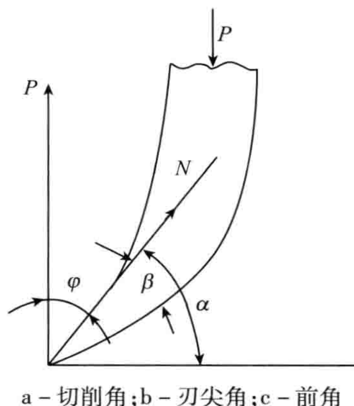
此法省去采心提钻时间,缩短了辅助时间,避免一些孔内事故,钻进效率成倍提高。常用的钻头有刮刀钻头和牙轮钻头两种。

(1)刮刀钻头　其特点是回转阻力大,稳定性差,易出现钻孔不规则等现象,故钻进技术参数适于低压,慢转,大泵量。由于泵量往往达不到要求,故在黏土、黏砂类地层中钻进时,要控制时效,以防因排粉不畅造成糊钻、埋钻等现象。

刮刀钻头由钻头体、翼片、水眼等组成。

钻头体:一般多用大口径钻杆接头制成。翼片:多用40号或45号钢板焊制,为增加翼片角β的大小直接影响底刃的尖锐程度和单位面积上压力的大小。刃尖愈小,切入岩石深度也愈大,一般软地层刃尖角为20°,较硬地层刃尖角为40°。切削角α增大,切削力增大。在较硬地层采用较大的切削角,一般取α=85°,软地层为充分发挥剪切碎岩作用,切削角可适当减小,一般取α=70°。

按翼片数的多少刮刀钻头可分为:2翼(鱼尾)、3翼、4翼(如图14-6所示)。



a－切削角;b－刃尖角;c－前角

图14-6　翼片几何形状

(2)牙轮钻头　其特点是回转阻力小,钻速高,操作简单,使用最多的是3牙轮钻头。适应范围较广,软地层、硬地层均可使用,特别是在第四系卵、砾石、漂石地层钻进,效果更为显著。

2)大口径取心钻进

大口径取心钻进的特点是回转阻力大,钻具跳动剧烈,一般选用转盘水井钻机。适用在结构松散,稳定性差的第四系地层中钻进,特别是在卵、砾、漂石发育的地层中,由于卵石、漂石具有一定硬度,卵、砾、漂石之间又无胶结,钻进难度很大,水文地质钻探经常遇到。大口径取心一次钻进成孔进尺快,效率高。若采用扩孔法成孔钻进,扩孔次数愈多,孔壁愈不稳定,往往扩孔比钻进更为困难。

大口径取心钻进主要是依靠钻头、岩心管的破碎与套挤作用获得进尺,破碎和套挤过程有:卵砾石块的滑移运动和卵石块的滚转运动。

在第四系卵、砾、漂石地层中钻进,钻进方法多采用合金肋骨钻头取心钻进与钢粒钻头钻进。

(1)合金肋骨钻头取心钻进　直径为168 mm或219 mm的钢管作钻头体,焊6片阶

梯肋骨达到所需直径。肋骨片上镶焊中八角柱状或大八角状硬质合金，合金的排列形式为密集式。钻进初始期，压力要轻，待钻具回转正常后，再逐渐增大压力。钻进技术参数：钻头压力200～300 N，转速0.4～1 m/s，泵量200～400 L/min。使用泥浆或不分散低固相PAM泥浆护壁，泥浆黏度26～28 Pa·S，相对密度1.2～1.25 g/cm^3。钻进中，无特殊情况，应避免提动钻具。

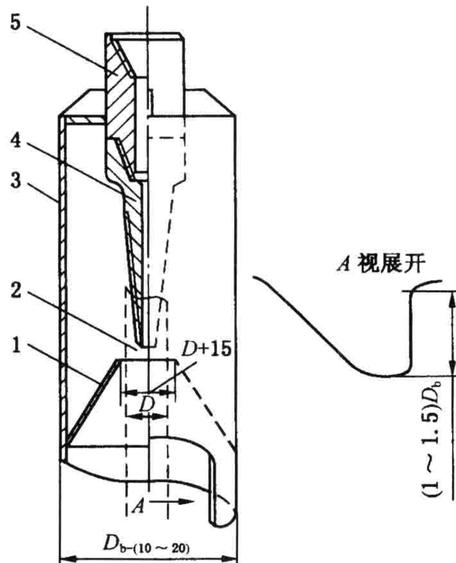
(2)钢粒钻头钻进　该方法与基岩地层大口径钢粒钻进相同。

(3)卵、砾、漂石地层的取心方法　采用嵌焊钢丝绳的钻头，在回次结束时，减少泵量。造成管内岩心堵塞时，取出岩心。为防止钢丝绳变形、损坏或贴靠管壁，回次扫孔和钻进时间控制在约1 h。

第三节　常见事故的处理

一、断钻具的打捞

大口径钻孔断钻具后，由于钻具与孔径间隙大，钻具会靠向孔壁，造成打捞困难。打捞的原则是，无论采用公锥、母锥，还是卡瓦打捞筒或打捞茅等工具，都要设法使钻具居中。如图14-7所示是带引导喇叭筒的公锥打捞工具，打捞断钻杆或钻铤的成功率很高。



1－内喇叭筒；2－被打捞钻杆；3－处筒；4－公锥；5－接头

图14-7　带引导喇叭筒的公锥

二、埋钻事故的处理

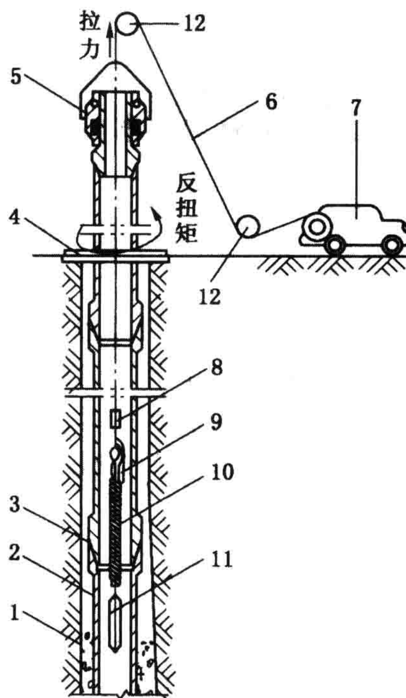
大口径孔钻进经常发生的事故是沉砂埋钻，处理这种埋钻事故十分困难，由于受水

井钻机提升能力的限制，直接靠钻机提拔解卡很少成功。因为起管机起拔钻具的强度往往不够。所以，一般采用倒扣套铣的方法处理。

倒出上部钻具的方法有：钻机转盘强行倒扣，炸药炸断钻具，爆炸松扣倒扣。

炸断钻具使用的是普通炸药，将它们制成小于钻具内径的爆炸筒，用钢丝绳从钻具中下到被卡点之上，其位置选在钻具壁较薄处，由地面引爆炸断钻具。炸药量根据被炸钻具的壁厚和直径来决定。炸药用量，现场常通过地面实验来确定。该方法很难炸断厚壁钻具，而且炸断的断口也不齐，给下一步的处理造成困难。因此，要慎用。

爆炸松扣倒扣法是利用炸药在钻具接头连接处爆炸，产生出强大震击作用帮助松扣，松扣效果十分显著，特别是在直径 89 mm 以上的钻杆和直径 146 mm 以上的钻铤倒扣中应用，效果比其他方法好。爆炸松扣的装置如图 14-8 所示。爆炸松扣工艺并不复杂，但现场操作要特别强调安全。



1－卡点；2－被卡钻柱；3－预计松扣接头；4－转盘；5－水龙头；6－测井电缆；7－电测车；8－磁性定位器；9－发火机构；10－炸药；11－加重铅锤；12－滑轮

图 14-8　爆炸松扣工艺示意图

三、落物打捞

大口径钻孔发生掉钻头牙轮或小的工具时，一般采用磁力打捞器或打捞筒打捞。磁力打捞器有普通型和强磁型，对孔底干净无沉砂的小件金属落物打捞较有效。

齿形打捞筒，俗称“一把抓”，对打捞较大落物效果较好。选用壁厚 4 ~ 6 mm，比钻头小一径的普通钢管，在管体下端割制抓齿。亦可用厚的地质岩心管，在其下部焊上若干

块 4 ~ 6 mm 厚的普通钢板割制的抓齿。抓齿长度稍大于管径,抓齿根部不宜过宽。打捞时,下至孔底加压,使抓齿弯曲收拢即可起钻。齿形打捞筒不仅可打捞落物,也可用于孔内沉积大卵砾石的捞取,成功率较高,且不会使事故复杂化。

在稍小孔径的钻孔中,孔内落物也可采用取心的办法将其与岩心一起取上来。但此法需要对取心的成功较有把握;否则一旦掉心,事故将会更加复杂。

复习思考题

1. 简述大口径工程孔的特点。
2. 大口径孔钻探设备及其要求是什么?
3. 简述第四系地层大口径回转钻进的特点。
4. 常见事故的处理方法有几种? 请简述。

第十五章　工程地质钻探

第一节　概　　述

一、工程地质钻探的目的

工程地质钻探(简称工程钻)是工程地质勘察的重要手段之一。在大型民用、工业或国防建筑的工程地质勘察过程中,需用钻探采取原状土样、岩心和在孔内进行各种工程地质试验,以获取建筑物基础的工程地质资料和岩土层的物理力学性质,为选择适宜的修建地点、确定建筑物的类型和结构、制定合理的施工方法以及为防止或治理滑坡、泥石流等不良工程地质灾害而采取工程措施提供必要的工程地质和水文地质依据。

二、工程地质钻探的特点

(1)工程地质钻探一般多在地表覆盖层中进行,钻进深度不大,多属浅孔,大多数钻孔深小于50 m,孔径不大,宜采用轻便化钻探设备,且要求安装拆卸方便。

(2)工程地质钻探是对建筑物的地基进行勘察,即对其地质构造、各地层的承载能力、受载后的变形等方面进行了解。所以,钻进时,不但要求查明岩石的种类、性质、层位、厚度等一般地质情况,而且还要查明岩石的天然状态,如岩石的裂隙发育程度、风化特点,含水情况、密实程度、受力后的应变等。因此,要求保证岩心完整、原状和较高采取率,并且还要进行动力触探和静力触探等工作。

三、工程地质钻探的应用范围

(一)各种地面建筑工程基础勘察

所有地面建筑物包括大型设备安装,均需以地面基础的承载能力(即基础的单位面积上所承受的载荷)为前提。现代建筑愈来愈高大沉重,要求基础深固。因此,在设计施工前首先要进行基础工程钻探,以便取得足够的工程地质资料与力学试验资料。这类工程基础勘察包括:

(1)高层楼房、超大型建筑、烟囱、碑塔基础;

(2)大型设备、重型机器安装;

(3)铁路和公路桥梁、港湾桥梁、水库电站、坝址、海港、码头、货栈等基础;

(4)大型输送管道(输送液体、气体、矿粉等)敷设等基础。

(二)各种地下建筑工程基础勘察

当前,现代化大城市发展的趋势是:一方面地面建筑向空间立体化发展;另一方面建筑工程愈来愈向地下发展。不久的将来地下铁道网、地下城市必然也将大幅度增加,地下建筑工程基础勘察将更为复杂和重要。属于这类基础勘察包括:

(1)地下铁路、公路、隧道、涵洞、暗渠等基础;

(2)地下城市、街道、建筑物和防护设施等基础;

(3)越江、越海隧道工程等基础;

(4)地下核试验工程、国防工程等基础。

第二节 钻进方法

在工程地质钻探中,常采用机械回转钻进、机械冲击、机械振动钻进和机械螺旋钻进。

一、机械冲击、回转钻进

机械冲击、回转钻进的工艺方法与岩心钻探基本相同,参见岩心钻探有关章节内容,在此从略。

钻探设备除采用岩心钻探设备(如 XY—4,DPP—100 型)外,国产专用工程地质钻机如表 15-1 所示。

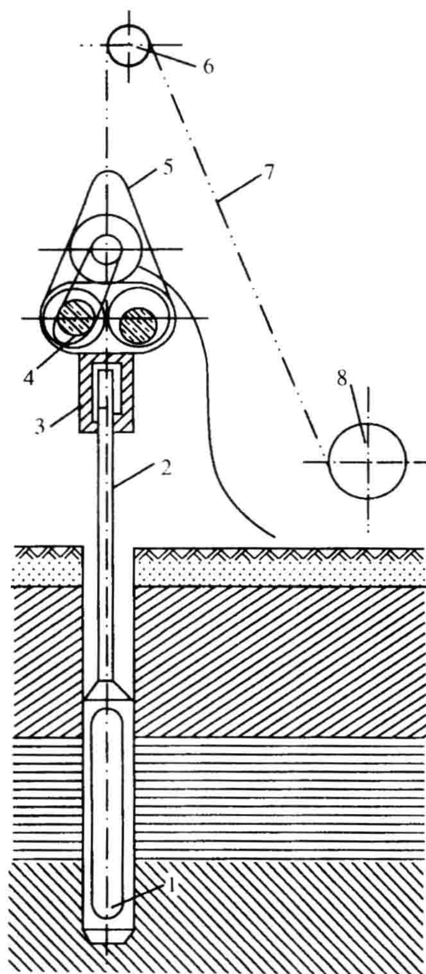
表 15-1 国产工程地质钻机举例

生产厂	钻机型号	钻孑直径/mm	钻孔深度/m	附注
天津探矿厂	QJD—50	56, 46, 36	50, 60, 70	回转钻
天津探矿厂	SH30—2	142, 110	30	冲击、回转两用
无锡探矿厂	G—2A	150, 130, 110	15, 30, 50	机械动力头式,冲击、回转、振动、静压多功能钻机
无锡探矿厂	GYC—150	150,130,110	50	机械动力头式,冲击、回转、振动多功能钻机
北京探矿厂	GJD—2	150,130,110	15,30,50	动力头式,多种复合功能

二、振动钻进

振动钻进的实质是用振动器带动钻杆和钻头振动,使周围岩石或土壤也产生振动。由于振动频率较高,岩层或土壤的强度降低,在钻具和振动器自重以及振动力的作用下,钻头吃入岩土层,从而实现钻进。

振动钻进方法如图 15-1 所示。用该振动器振击开有纵向槽的钻管,在土层中钻进,可达到每分钟 2 m 或更高的钻进速度。



1－碎岩工具；2－钻杆；3－顶帽；4－振动器；5－吊绳；6－滑车；7－钢绳；8－绞车

图 15-1 振动钻进示意图

振动钻进孔深大多为 10～20 m，钻进效率比人力钻进提高 3～4 倍，而单位进尺的成本则仅为人力钻进的 1/10～1/8。此外，还可使用振动机械下套管和处理孔内事故，以减轻体力劳动强度。

（一）振动器的工作原理

目前应用最广泛的是机械振动器。机械振动器是利用偏心重锤在旋转时产生的离心力而发生振动作用。

机械振动器能产生两类振动，即非定向振动（圆周振动）和定向振动。

如图 15-2 所示，两个偏心轮的规格和质量相同，两个轮轴水平且互相平行，两轮用齿轮传动，因而使两个偏心轮的旋转方向相反，而相位角和角速度都相同。不论两偏心轮处于任何位置，离心力 Q_1 和 Q_2 均可分解为两组分力。其中水平分力 S_1 和 S_2 大小相等而方向相反，因而互相抵消，而垂直分力 P_1 和 P_2 大小相等，方向相同，其合力 P 等于 P_1

和 P_2 之和。当偏心轮的重心位于水平轴线以下时,合力 P 的方向向下;当偏心轮的重心位于水平轴线以上时,合力 P 的方向则向上。因此,合力 P 将使钻具产生垂直方向的振动。

离心力 Q_1 和 Q_2 可按下式计算:

$$Q_1 = Q_2 = mr\omega^2 = r\frac{G}{g}r2\left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 = 0.00112\ Grn^2 \quad (15\text{-}1)$$

式中:Q_1,Q_2 为偏心轮产生的离心力,N;m 为偏心轮质量,kg;G 为偏心轮重力,N;r 为偏心距,即偏心轮重心至回转中心的距离,m; 为偏心轮的角速度,rad/s;n 为偏心轮转数,r/min;g 为重力加速度,m/s^2。

当偏心轮转至900 和2700 时,垂直力最大,振动器的振动动力达到最大值,最大振动力 Pmax 可用下式计算:

$$P_{max} = Q_1 + Q_2 = 2mr\omega^2 = 0.00224\ Grn^2 \quad (15\text{-}2)$$

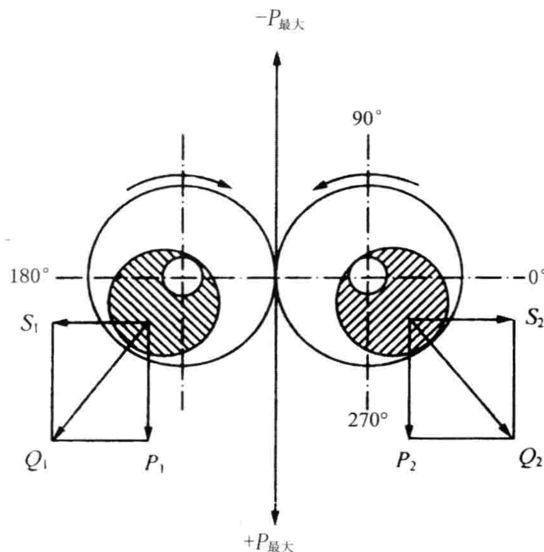


图 15-2　双轴双轮振动器工作原理示意图

综上所述,不同工作原理的振动器可以产生各种不同的振动运动,而振动器的选择则取决于使用振动器的目的。振动钻进时,可采用上下垂直振动的双轴双轮振动器;起下套管时,可采用简单的单轴单轮振动器。

(二)振动器

用于工程地质钻探的振动器应满足下列要求:

(1)振动力应足够大,以产生大的振幅,但不应超过设备和钻具的允许值。实践证明:使用直径为 50 mm 的转杆时,双轴双轮振动器的最大允许振动力为 60 ~ 65 kN,单轴振动器约为 45 ~ 50 kN,超过允许值则易发生钻杆折断等事故。

(2)振动频率不低于 1000 次/min,一般为 1200 ~ 2500 次/min,振动频率小,则效率低。

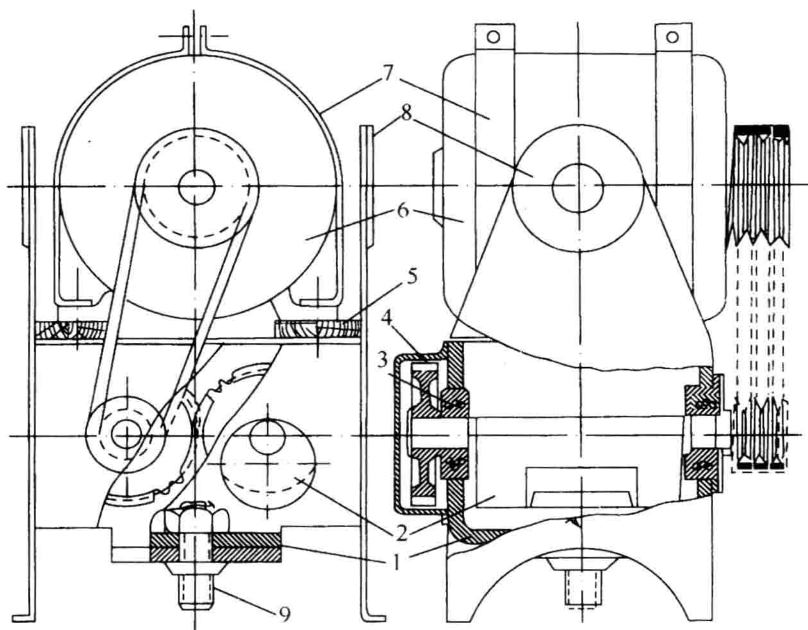
(3)振动器自重应尽可能小,自重大将增加无益功和使钻杆上部变形。

(4)振动器所有零件要牢固可靠,焊缝在交变负荷作用下易损坏,因此在设计和制造时应尽量避免焊接。为了防止螺栓连接回扣脱落,所有连接螺栓应用开尾销固定。

振动器类型很多,有普通式振动器、带弹簧加重物的振动器、振动锤等。下面介绍两种常用于工程地质勘察的振动器。

1. 普通双轴双轮振动器

如图 15-3 所示。振动器所有零件均装置在外壳内,旋转偏心轮产生的离心力通过外壳和接头传给钻具。偏心轮与轴是一整体,偏心轮轴装在四盘滚珠轴承上。两个规格相同的用优质钢制成的齿轮用键装在偏心轮轴的一端,以使两个偏心轮的作用达到同步。电动机装置在外壳上,然后用箍圈及螺栓与外壳固定,外壳两侧有夹板,其上端有供悬挂振动器用的孔。



1 – 振动器外壳;2 – 偏心轮;3 – 轴承;4 – 齿轮;5 – 木垫;6 – 电动机;7 – 箍圈;8 – 夹板;9 – 接头

图 15-3 普通双轴双轮振动器

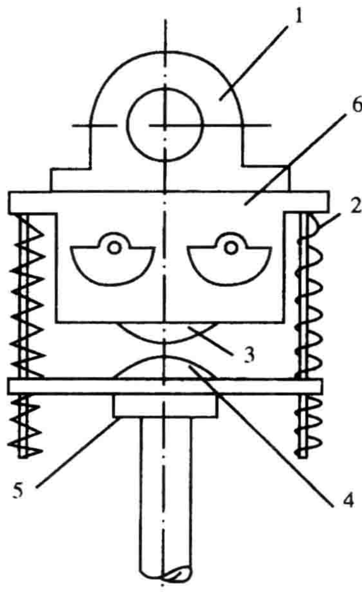
振动器工作时,要求最大振动力应比钻具或其他下沉物的重力大 20% ~30%。随着钻孔的不断加深,钻具产生的重力也不断加大。因此,振动器应能调节振动力的大小。由前述可知,振动器发出的最大振动力正比于偏心轮的质量、偏心距和转数的平方,因而改变这三个参数就能调节振动力的大小。常采用的方法是改变偏心轮转数和质量。用于改变转数的动力机为直流电动机。在偏心轮上钻一些孔,在孔中固定重物或从孔中取下重物就可以改变偏心轮的质量和偏心距。

这种振动器的最大缺点是电动机和振动器一起振动,因而使电动机承受动负荷,工作条件变坏,振动频率也受到限制。为了克服这一缺点,可将电动机不直接安装在振动

器上,而用弹簧隔开。由于弹簧的缓冲作用,可以大大改善电动机的工作条件。

2. 振动锤

如图15-4所示。振动锤由电动机(或液压马达)、振动器、弹簧、冲头、砧子和接头等组成。



1－电动机;2－弹簧;3－冲头;4－砧子; 5－接头;6－振动器

图15-4 振动锤

振动锤的特点是振动器与钻具分离,故在工作中具有振动和冲击双重作用。

冲头与砧子可以接触,也可以不接触,在振动力的作用下,振动器产生振动并冲击砧子,由于弹簧的张力而引起冲击器上跳,即产生向上的振动力,故振动幅度也比其他振动器大得多。振动器做周期振动运动,冲头亦周期地产生向下的冲击作用。

振动锤钻进效率较高,特别适用于在致密土壤中钻进。

(三)钻进工艺

1. 钻具振动沉入的条件

振动破碎岩石仍属机械破碎方式,破碎机理是:对于较硬岩土,在高频振动力作用下,可能产生疲劳破碎;对于松软岩土,尤其是黏土质岩层,受到振动时会发生物理变化,使内摩擦系数和外摩擦系数降低,因而创造了有利的破碎条件。

钻具振动沉入的条件是:振幅应不低于一定限度;振动力应足以克服土壤抗断强度,振动力大则允许振频稍有降低,反之则需增加振频;沉入压力(钻具自重)应足以克服土壤的摩擦阻力,并保证有一定的沉入速度。

振动钻进适用于砂、亚砂土、亚黏土、黏土等地层,在松软岩层中钻进具有很高的效率。

2. 振动钻头

振动钻采用的钻头如图 15-5 所示。其特点是管壁沿轴向开有纵切口,切口所对圆心角为 10°~160°,其大小取决于岩层性质。在未黏结的含水层中钻进可取小一些,在黏结性的岩层中则应取大一些。切口长 1.5~2 m。用这种钻头钻进时,在纵切口外岩心(土样)沿其全部高度与岩层本体相连,为了取出岩心,应先将钻头转动一定角度,割断岩心与岩体的联系,然后才能将钻头和岩心一起提至地表。

经试验证明:用不带纵切口的钻头钻进时,岩心上部松软,而下部却非常密实,以致钻速急剧下降,进尺很快停止,提钻后需将岩心打碎才能取出;用带一个纵切口的钻头钻进时,钻进深度增大,但岩心下部和切口对面的岩心仍被压实,而岩心上部和切口处的岩心则几乎未被压实;用带有两个纵切口的钻头钻进时,钻进深度更大,效率更高,但靠近钻头内壁部分的岩心仍有被压实现象。

在半干的黏土层中钻进,最好采用有两或三个纵切口的钻头。但为了防止因强度和刚度减小而在钻进中被扭曲或劈开,应采取以下措施:钻头不宜过长;切口的宽度应为钻头直径的 2/5~3/5;或在切口上交错地留有若干横梁,如图 15-6 所示。

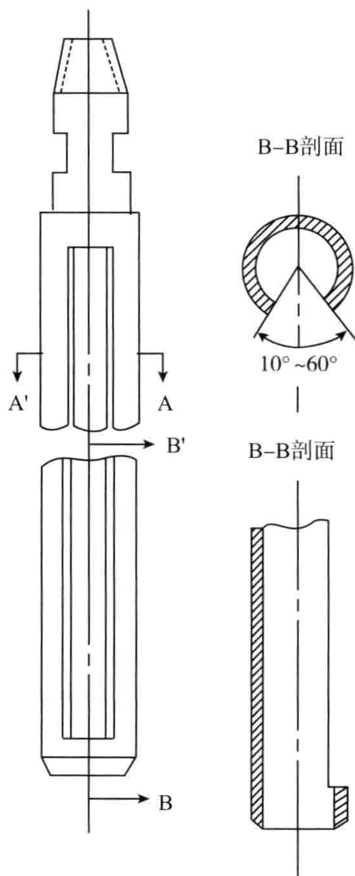


图 15-5　振动钻头

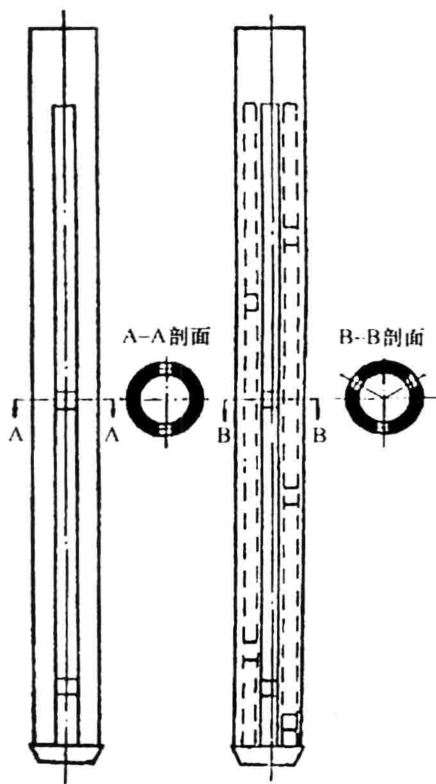


图 15-6　有两个或三个纵切口的振动钻头

钻进干砂、湿砂、含砾砂层时,可采用不带纵切口或带一个不宽的纵切口的钻头。

振动钻头可用直径为 89 ~ 168 mm 的套管制作，下端应接有可拆卸的带刃管鞋，管鞋外径比管体外径大 2 mm，内径则应小 2 ~ 4 mm。

采用振动钻进时，岩样的结构和构造有一定的破坏，湿度也稍有变化，但仍符合工程地质的要求，而所获得的地质剖面的准确性比人力钻进要高。

三、螺旋钻进

螺旋钻进是由螺旋钻杆在孔内带动螺旋钻头回转破碎孔底岩石而不断向下钻进，被破碎下来的岩粉不是用循环冲洗液清除，而是由螺旋钻杆与钻孔实际上组成的“螺旋输送机”，用螺旋钻杆不断将岩粉输送至地面。因此，螺旋钻进是一种干式回转全面钻进方法。

(一)螺旋钻进的优缺点及其应用

螺旋钻进具有以下优点：

(1)在无砾石及硬夹层的软岩中钻进，小时效率可高达几十米。这是因为螺旋钻杆能及时输送出所钻下的岩粉，孔底无重复破碎现象，也没有静液柱压力影响孔底岩石的破碎。

(2)不使用循环冲洗液，既减少了配制和输送冲洗液的辅助工作，又适于在缺水、无水地区和漏失层中钻进。

(3)螺旋钻杆回转时，向孔壁挤压岩粉，可在孔壁上形成一层致密的泥皮，岩粉中的小砾石也可楔入孔壁，故有加固孔壁的作用。

(4)全面钻进连续排粉，可节省升降工序的时间。

(5)随钻随取样，及时掌握地层变化情况，基本上能满足地质要求。

螺旋钻进的缺点是：只能钻进松软岩层，在黏土层中钻进困难，钻进所需功率大，因而孔深受到限制。

目前，螺旋钻进已广泛应用于钻进 1 ~ 4 级软岩层。如工程地质勘察，大口径施工、水文地质勘察和构造普查等方面。螺旋钻进也是复合钻进的方法之一。

螺旋钻进的孔深一般为 25 ~ 50 m，最深不超过 100 m，孔径多为 120 ~ 300 mm。

螺旋钻机有轻便式螺旋钻机、移动式或自行式的复合式钻机(如螺旋振动钻机，螺旋钻和钢丝绳冲击钻相结合的复合式钻机)等。

(二)螺旋钻具

螺旋钻具包括螺旋钻杆和螺旋钻头。

1. 螺旋钻杆

如图 15-7 所示，螺旋钻杆由心管、螺旋带和连接部分组成。心管为无缝钢管，外面焊有钢制螺旋带。钻杆上端有六角形杆，下端有六角形套，两根钻杆的套与杆套上后插入销子，并用防松定位装置固定。

对螺旋钻杆的要求是：应有足够的抗弯和抗扭强度，耐磨性高；易于将岩粉自孔中排出，钻杆连接要简单可靠，其连接部分不应妨碍岩粉的输送。

2. 螺旋钻头

如图 15-8 所示，螺旋钻头由钻头体、翼片、螺旋带和连接部分组成。翼片上镶有阶梯状布置的硬质合金切削具以破碎岩石。在钻头外径上也镶有合金片，以保持孔径。钻头体上焊有一段螺旋带，用于与钻杆上螺旋带衔接，便于输出岩粉。钻头直径应比钻杆直径大 10 ~ 20 mm，以减小钻杆柱与孔壁的摩擦阻力。



1 - 心管；2 - 螺旋带；3 - 六角形套

图 15-7　螺旋钻杆



1 - 钻头体；2 - 螺旋带；3 - 翼片；
4 - 硬质合金切削具；5 - 销子；6 - 定位器

图 15-8　螺旋钻头

螺旋钻头可以按照硬合金翼状全面钻头的原则设计。钻头有二翼、三翼或四翼的，可以具有平底、锥形或阶梯式的刃部。

为了易于通过硬夹层和砾石层，也可采用牙轮钻头钻进。

(三)钻进工艺

螺旋钻进实质上是硬质合金钻头全面钻进，因此，影响钻进效率的因素与硬合金钻进相同。

螺旋钻进的轴心压力包括给进力、钻杆柱重力、被螺旋钻杆输送的岩粉重力以及排除岩粉与孔壁摩擦力的垂直分力。轴心压力的最优值应根据岩石性质、孔深、转数、动力机功率等因素确定。

在螺旋钻进中，转速有双重作用，一方面直接影响破碎岩石的效率；另一方面也影响排粉的效果。如图 15-9 所示，位于螺旋带面上的破碎岩块 A，受到如下几种力的作用：被螺旋钻杆回转作用的离心力 P 推向孔壁而与孔壁产生摩擦力，此摩擦力使岩块沿螺旋面上升，与此同时，在岩块 A 上还作用有压向螺旋面的 S 力，S 力将随螺距的增大而增大，此力在岩块 A 和螺旋面之间产生摩擦阻力而阻止岩块 A 移向孔壁。因此，只有当离心力 P 的值大于岩块 A 与螺旋面之间的摩擦阻力时，破碎岩块才可能由孔内排至地面，否则，岩块将只随螺旋钻杆一同回转而不能上升到孔外。而离心力 P 的大小与螺旋钻杆转数的

平方成正比,因此,当转数小于一极限值时,螺旋钻杆将丧失输送岩粉的能力。但转数太高时,钻头磨损加剧。一般认为钻进转数不大于100~150 r/min为宜。为了改善排粉条件,可以周期性地停止给进,用250~300 r/min的最优转数专门排粉。转数与钻头直径关系极大,可用经验公式 $n=90/\sqrt{d}$ 计算,式中:n 为转数,r/min为每分钟转数;d 为钻头外径,cm。

在钻进较硬岩土层时,可采用较大的轴心压力(8000~10 000 N)和最低的排粉转数(100~150 r/min);钻进干砂层时,应采用高转速和快给进;钻进黏土层,易糊钻头,钻进和排粉都很困难,应经常提动钻具,每钻进1 m还要向孔内注水8~12 L;钻进卵砾石层,易发生卡钻杆和钻具跳动,可采用加重螺旋钻杆,采用适当转数,增加钻头强度。

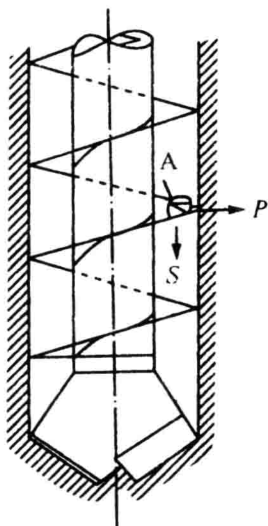


图15-9 螺旋器工作原理图

第三节 采取样品

一、概述

工程地质钻探的目的在于获得准确的工程地质资料,即通过所取的样品可以了解土层的层序、深度、厚度、天然结构、密实度、自然湿度、节理程度,抗剪强度、压缩系数、容重、渗透系数等,从而确定土层的承载能力和稳定性。因此,必须做好采取样品的工作。

根据工程地质的要求,通过钻探手段,必须在土层中取出扰动土样和原状土样。用一般钻进工具所取出的土样,其天然成分和结构已被破坏,称为扰动土样。用这种样品可获得部分工程地质资料,但所获得的试验分析资料是不准确的。所以,凡是进行工程地质勘察,还必须专门采取所必要的原状土样。所谓原状土样,是指天然成分和结构未被破坏的土样。用原状土样可以测定土层在自然状态下的各种物理力学性质,为各类工程建筑提供可靠的设计依据。如缺乏地基土壤的精确资料,在设计时被迫采用较大的安

全系数,势必浪费大量的人力和物力。因此,用简单易行的办法在一定的深度取出原状土样具有重要的经济意义。

目前,在钻孔中采取原状土样的工具为原状取土器,简称取土器。

实际上,原状土样是相对而言的。因为,要取得完全不受扰动的原状土样是不可能的。在自然状态下,土体中任意一点的内应力都是平衡的。如将土样从土体中取出,则由于消除了土样周围土体的压力,应力条件发生变化,会引起质点间的相对位置和组织结构的变化,甚至出现质点间现有黏聚力的破坏,这种现象称为天然结构土样的"自然破坏"。因此,所谓原状土样实际上都遭受到不同程度的"自然破坏"。另外,无论采用何种形式的取土器,都有一定的厚度和体积,当切入土层时,会使土样产生一定的压缩变形,取样作业过程的一些因素也会扰动土样而改变其原有的结构。

二、原状土样的采取

(一)取土器基本技术参数的确定

用于采取原状土样的任何取土器,都必须满足以下基本要求:

(1)取土时不掉土样;

(2)能顺利地压入或击入土层,而且对土样的扰动最小;

(3)结构简单,便于加工制造,使用操作简便。

根据上述要求,设计取土器时,应正确确定取土器的各项基本技术参数,否则,将严重影响土样的质量和土样的采取。

取土器基本技术参数如图 15-10 所示,其中包括取土器直径、内间距比、外间距比、面积比、管鞋刃口形式及长度。

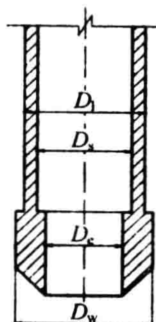


图 15-10　取土器参数

1. 直径

取土器的直径 D,直接影响土样的质量。直径过小,不能保证土样的尺寸和质量;直径过大,容易掉样。确定取土器直径时应考虑下列因素:

(1)扰动带宽度。采取土样时,土样与取土管内壁产生摩擦而造成土样边缘扰动,此扰动带的宽度与取土方法和土层性质有关,其具体数据如表 15-2 和表 15-3 所示。

表 15-2　不同取土方法扰动带宽

取土方法	土样扰动带宽度/mm
回转取土	20
压入取土	2～12
击入取土	24
振动取土	24

表 15-3　压入时土样扰动带宽度

土类名称	取土深度/m	土样两侧扰动总宽度/mm
呈层细砂	13	10
带状黏土夹细砂	5～11	12
淤泥质黏土	10～25	0～8
淤泥质黏土亚黏土	25～50	2～10

(2)土层性质。在易受扰动的软黏土和黄土层中取样,取土器直径应大些;在砂性土中取样时,则应采用直径较小的取土器,以防掉样。

(3)切制试样的环刀直径。土样取出后,还需要环刀(如图 15-11 所示)切制成一定规格的试样,然后再进行各种试验。目前,土工试验所用的环刀直径有 61.5 mm、64 mm 和 80 mm 等几种。因此,应保证土样直径在除去扰动带宽度后稍大于环刀直径,从而确保试验的可靠性。

此外,还应考虑我国目前生产的管材直径系列和取土样的长度,样愈长,取土器直径应相应增大。

取土器的适宜内径一般选用以下数值:在软黏土中约为 100 mm;在砂性土中约 80 mm;在砂中约为 76 mm。

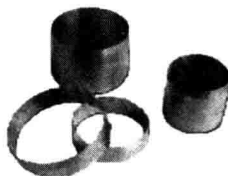


图 15-11　切制试样的环刀

2. 内间距比

取土器内径与刃口内径之差与刃口内径的百分比称为内间距比,以 C_1 表示。

$$C_1 = \frac{Ds - De}{De} \times 100\% \tag{15-3}$$

内间距比的作用是减少土样进入取土器后,取土管内壁引起土样的压密扰动。内间距比愈大,土样与取土管内壁的摩擦力愈小,对土样的扰动就愈小。但当内间距比增大到一定数值时,水容易流入土样周围,使土样含水量增加,自然湿度变化,而且其体积膨胀引起土样原状结构的破坏,同时,当提出取土器时,土样容易从管内脱落。因此,选择适当的内间距比既可减少土样的扰动,提高土样的质量,又可避免土样脱落,保证土样的采取率。

实践证明,在不同的土类中应选择不同的内间距比。一般在软黏土中内间距比以 0.5%～1% 为宜;在黏性土中内间距比为 1%～1.5%;在砂中内间距比应为零。

3. 外间距比

取土器管鞋外径与取土管外径之差与取土管外径的百分比称为外间距比,以 C_0 表示。

$$C_0 = \frac{Dw - Dt}{Dt} \times 100\% \tag{15-4}$$

外间距比的作用是减少取土器外壁与孔壁之间的摩擦,从而减小取土器切入土层中的阻力。外间距比大,则取土器易于切入土层,但外间距比过大,就会增加取土器的面积

比,从而增加土样的扰动。因此,外间距比不宜过大,也不宜过小。用于黏性土的取土器,其外间距比以1%左右为宜;用于黄土的取土器以2%~3%为宜;而用于砂及松散砂土的取土器,其外间距比应为零。

4. 面积比

取土器最大断面积与土样断面积之差与土样断面积的百分比称为面积比,以 A_r 表示表示。

$$A_r = \frac{Dw^2 - De^2}{De^2} \times 100\% \tag{15-5}$$

面积比主要影响土样扰动程度和取土器的强度和刚度。当取土器压入土层时,需要排开与取土器壁等体积的土,被排开的大部分土挤入孔壁内,少部分挤入土样内,同时,刃口下部的土也被压实,这些挤压现象都会使土样产生一定程度的扰动。不难看出,取土器的面积比愈小,则土样受到的扰动程度就愈小。而减小取土器面积比的主要途径是减小取土器的壁厚,因此,取土器的壁愈薄则使土样扰动程度愈小,但必须保证取土器具有一定的强度和刚度,以防在压入土层的过程中发生变形或破裂。

试验资料证明:当取土器的面积比大于40%时,采取的土样有明显的扰动。为了保证土样的质量和取土器的强度,在不同的土类中应有不同的面积比。在较硬的黏性土中取样时,要求取土器强度高,管壁应厚,一般壁厚5~6 mm,面积比小于30%;采取软土土样时,面积比要小于20%,壁厚3~4 mm;采取砂样时,面积比小于10%,壁厚1.5 mm左右。

5. 管鞋刃口的形式及角度

管鞋刃口的形式及角度对土样的质量有很大的影响。实践证明:在同一土层中,随着管鞋刃口角度的增加,土样的扰动度也增大。管鞋刃口的形式很多,概括起来有两种,即单倾斜刃口,如图15-12(a)所示和双倾斜刃口,图15-12(b)所示。现场采用较多的是单倾斜刃口,刃口角度一般在100左右。

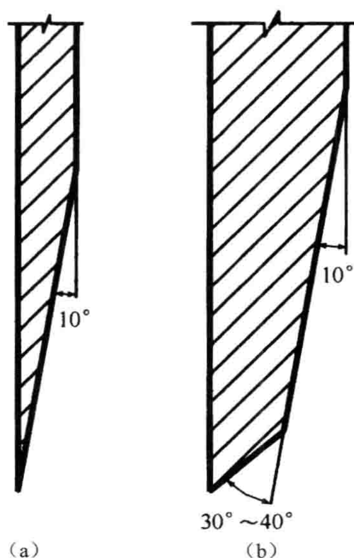


图15-12 管鞋刃口形式

为了减小管鞋内壁对土样的摩擦压密扰动，管鞋刃口内壁可制成倒圆锥形，如图 15-13(a)所示或阶梯状，如图 15-13(b)所示。前者与土样为线接触；后者也使摩擦面积大大减少。使用这种形式的管鞋，在黄土中取样能获得良好的效果。

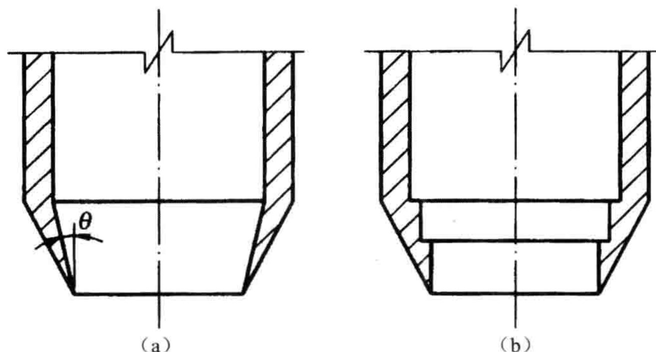


图 15-13　管鞋刃口内壁形式

6. 取土管的形式及长度

(1)取土管形式。常用的取土管形式有三种：圆筒式、半合焊接式和可分半合式。圆筒式取土管。如图 15-14(a)所示。它带有两个退土槽，退土时，将退土棍插入退土槽中，用退土器顶退土棍将衬筒顶出来。采用这种取土管及相应的退土方法会引起人为二次扰动，所以在软黏土和一般黏性土中不宜采用。半合焊接式取土管如图 15-14(b)所示。它是由两个半管组成，一半的下端与管鞋焊接，另一半可插入管鞋，取土管上端用螺钉固定。取上土样后，拧下上端螺钉，取下插入管鞋的半合管，即可将土样取出。这种形式的取土管可以避免退土时人为二次扰动。可分半合式取土管，是目前使用最普遍的一种，如图 15-14(c)所示。取土管上端用丝扣与余土管连接，下端用丝扣与管鞋连接。卸土时，将余土管和管鞋拧下，打开半合管，即可取出盛满原状土的衬管。这种形式的取土管不宜过长，否则，在压入或击入取土时，取土管中部易胀开。以致影响土样质量。

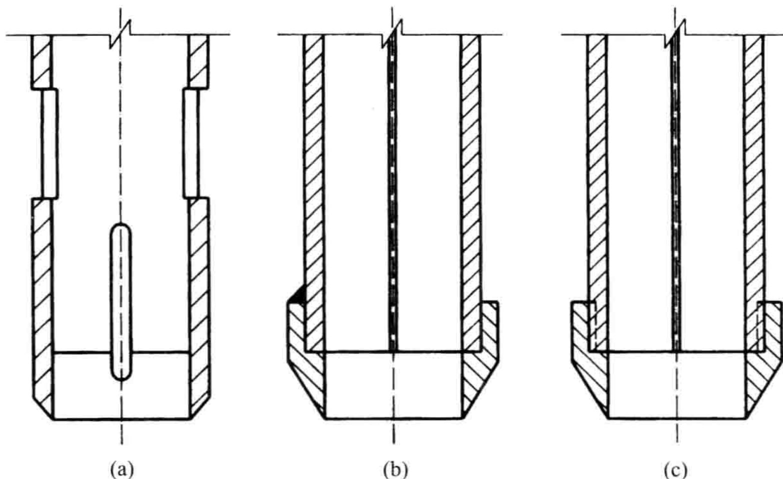


图 15-14　取土管形式

(2)取土管长度。取土管的长度与取土器直径、试验对土样长度的要求和土的种类等有关。取土器直径愈大,则取土管长度应相应增长。但取样太长,其边缘扰动宽度增大。因此,当取土管的直径确定以后,除正常的边缘扰动外,不允许因取样过长而增大边缘扰动带的宽度。另外,取出的原状土样,因其上部受孔内残积土的扰动,下部受扭断土样时的扰动,只有中间一段土样的质量较好。因此,取样长度不宜过短,应保证中间段土样能满足进行一次物理力学性质试验的要求。其次,不同土类对取土管长度的要求也不同,砂层最短,砂性土及一般黏土次之,而较软黏土应适当增长。现将取土器各项技术参数如表 15-4 所示,供选择设计时参考。

表 15-4　取土器多项技术参数在不同土类中的选择表

	内径/mm	内间距比/%	外间距比/%	面积比/%	管鞋刃口角度/(°)	取土管长度/mm
软黏土(包括淤泥)	>100	0.5~1	<1	<20	10	540
一般性黏土	>100	1~1.5	1	<20	10	490
砂质性黏土	80	0.5~1	1	<20	10	350
较硬黏性土	>100	1~1.5	1~2	<30	10	350
黄土	>100	1~1.5	2~3	<30	10	150~200
砂	76	0	0	<10	20~25	200

(二)常用取土器

取土器的种类很多,根据取土器下端是否封闭可分为敞口式、封闭式。根据取土器上部封闭形式可分为球阀封闭式、活阀封闭式、活塞封闭式。根据取土器的壁厚可分为薄壁取土器和厚壁取土器。

根据封闭形式的不同,取土器分类如表 15-5 所示。

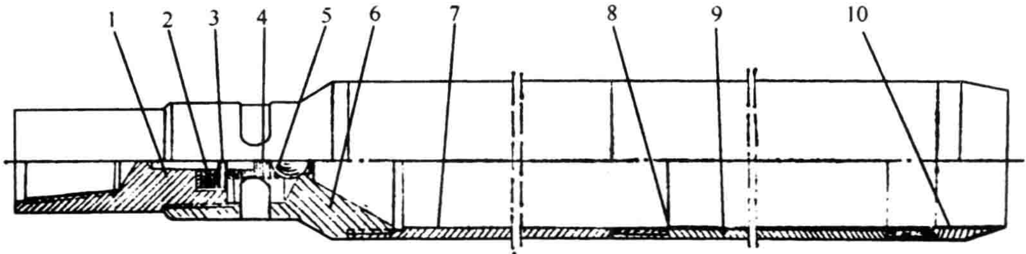
表 15-5　取土器分类表

<table>
<tr><td rowspan="8">敞口式取土器</td><td rowspan="2">球阀式取土器</td><td>自由球阀式</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>限制球阀式</td></tr>
<tr><td rowspan="4">活阀式取土器</td><td rowspan="2">上提活阀式</td><td>橡皮垫密封式</td></tr>
<tr><td>双锥面密封式</td></tr>
<tr><td rowspan="2">下压活阀式</td><td>下旋式</td></tr>
<tr><td>弹簧下压式</td></tr>
<tr><td rowspan="2">回转压人式取土器</td><td>有弹簧调节式</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>无弹簧调节式</td></tr>
<tr><td rowspan="4">封闭式取土器</td><td rowspan="2">自由活塞式取土器</td><td>浮动活塞式</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>简易打人活塞式</td></tr>
<tr><td rowspan="2">固定活塞式取土器</td><td>球卡式</td></tr>
<tr><td>水压式</td></tr>
</table>

下面介绍几种常用的取土器。

1. 限制球阀式取土器

其结构如图 15-15 所示。在压入或击入土层中采取土样时,取土器内的液体或气体顶开球阀,自取土器中排出。当停止压入时,弹簧将球阀压回阀座,使取土器密封而与钻杆柱内的水柱隔离。限制球阀式较自由球阀式(上部无弹簧)密封可靠,但弹簧强度及压力应选择适当,球阀直径应与阀座排水孔的直径相适应。

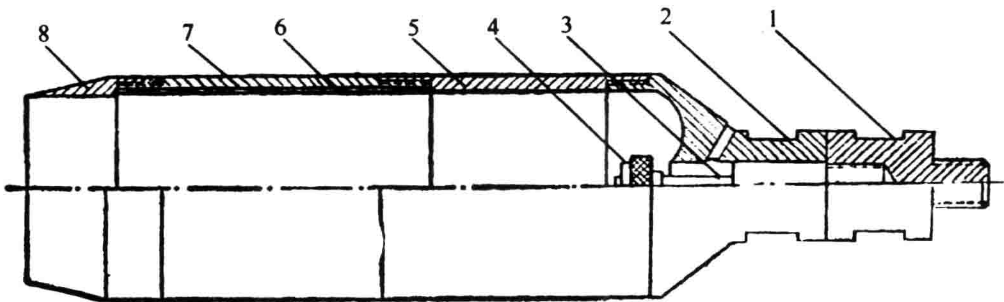


1 - 接头;2 - 调节垫片;3 - 调节螺丝;4 - 弹簧;5 - 球阀;6 - 异径接头;
7 - 余土管;8 - 衬管;9 - 取土管;10 - 管鞋

图 15-15　限制球阀式取土器

2. 上提橡皮垫活阐式取土器

其结构如图 15-16 所示。这种取土器的特点是联结帽与操纵杆为套接。橡皮垫活阀固定在操纵杆上,橡皮垫活阀随取土器的上提和下压而与联结帽封闭和离开,从而实现排出取土管内的气、水和隔离钻杆内的水柱。



1 - 接头;2 - 联结帽;3 - 操纵杆;4 - 橡皮垫活阀;5 - 余土管;
6 - 衬管;7 - 取土管;8 - 管鞋

图 15-16　上提橡皮垫活阀式取土器

使用时,用钻杆下压取土器,土样进入取土管中,土样上部的水、气则由活阀与联结帽之间的空隙中经联结帽的排水孔排出。提出取土器时,上提钻杆,橡皮垫活阀上升而压紧联结帽,封闭取土器上端,即可使土样安全提出。

这种取土器的优点是橡皮垫活阀与联结帽为线接触,密封性能好。另外,橡皮垫有一定的弹性变形,当橡皮垫与联结帽接触处有砂粒时,亦不致影响密封的可靠性。

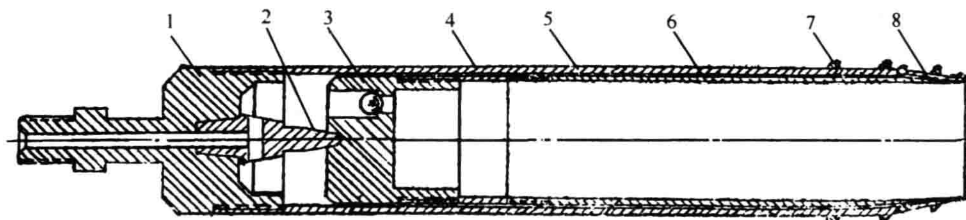
3. 回转压入式取土器

回转压入式取土器实际是双层岩心管式取土器。其结构如图 15-17 所示。外管底端

焊有螺旋片或接有合金钻头，内管与一般球阀式取土器类似，有管鞋、取土管、余土管。上端用球阀封闭。取样时，外管回转钻进，内管压入取样。这种取土器可用于人力回转钻进和机动回转钻进的钻孔。

人力回转钻进时，采用焊有螺旋片的外管，一般不用冲洗液，在回转压入取土过程中所克取的废土则由外管外表面的螺旋片带出孔口。

机动回转钻进时，外管下端接有合金钻头破碎岩土，内管压入取样，孔内废土用冲洗液排出孔外。



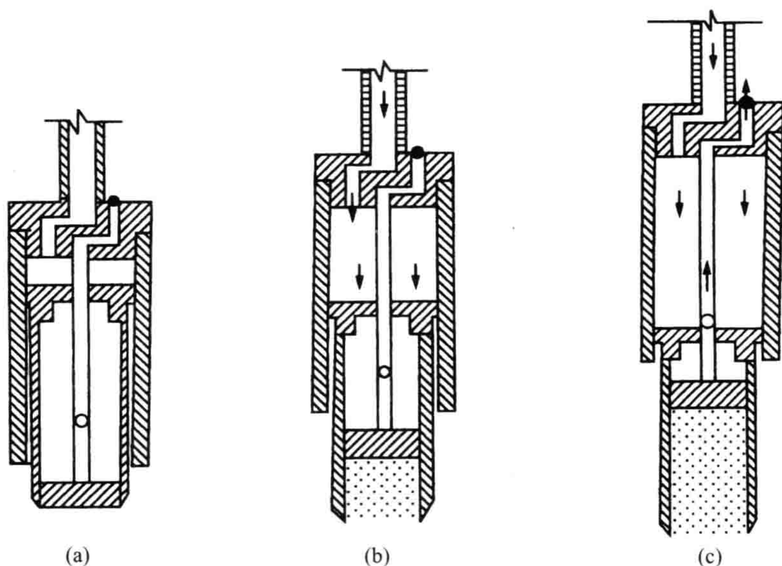
1－接头；2－导向头；3－异径接头；4－余土管；

5－外管；6－取土管；7－螺旋片；8－管鞋

图 15-17　回转压入式取土器

4. 水压活塞式取土器

水压活塞式取土器的工作状态如图 15-18 所示。在取土器下入孔底压入土层前，取土器下口被活塞封闭，如图 15-18(a)所示。采取土样时，开动水泵经钻杆送水，借助水泵的压力向下推动取土管，使其切入土层，如图 15-18(b)所示，取土管内的液体则由活塞杆内排出，而外管只起缸套的作用。



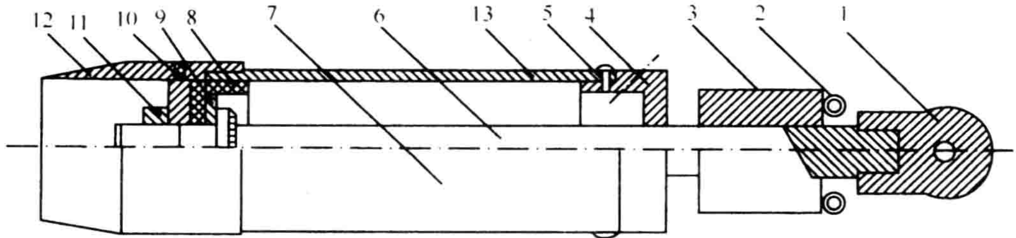
(a)取土器下人孔底时的状态；(b)开始取土时的状态；(c)取土后的状态

图 15-18　水压活塞式取土器工作状态图

这种取土器需用水泵压力取样,故只适用于机动钻进的钻孔中取样。由于活塞与取土管内壁配合紧密,使土样与钻杆内液柱完全隔离而不承受任何压力,可避免土样中途脱落。

5. 自由活塞式取土器

其结构如图 15-19 所示。取土前,活塞用木销固定在管鞋上,以封闭取土器下端。下入孔内取土时,用钢丝绳提动冲击锤,下击取土管,打断木销,使取土管切入土层而取得原状土样,故又称"简易打入式取土器"。这种取土器适用于在黄土层中取样。

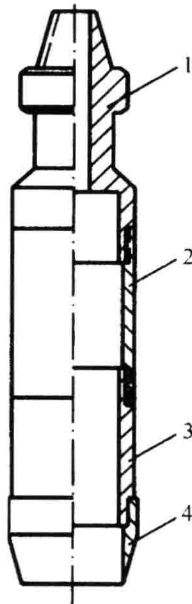


1 - 活塞杆帽;2 - 冲击锤提引环;3 - 冲击锤;4 - 接头;5 - 固定螺丝;6 - 活塞杆;
7 - 取土管;8 - 活塞;9 - 活塞压盖;10 - 木销;11 - 螺母;12 - 管鞋;13 - 衬筒

图 15-19　自由活塞取土器

6. 黄土层取土器

黄土层取土器实际上是一种简易取土器,如图 15-20 所示。它由接头、余土管、取土管、管鞋组成。取土样时,用钻杆将取土器压入黄土层中后,提出即可。这种取土器适用于黄土颗粒均匀而细小,具有一定黏结力,其塑性与附着力也较强,而且位于地下水位以上的黄土层中采取原状土样。



1 - 管头;2 - 余土管;3 - 取土管;4 - 管鞋

图 15-20　黄土层取土器

(三)采取原状土样的方法

采取土样的方法很多,应根据设备条件和土层类别来合理选择。

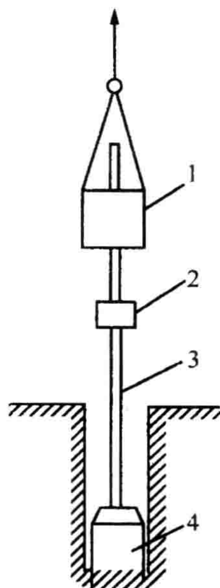
1. 击入取土法

击入法就是采用吊锤或加重杆打击钻杆使取土器切入土层而采取土样的方法。这种方法最适用于较硬或坚硬的土层中。

击入法根据打击位置的不同,可分为上击式和下击式两种。

(1)上击式取土法:此法是在孔上用吊锤打击钻杆而使取土器切入土层取样的方法。如图15-21所示,上击式取土是由钻杆传递冲击力,使取土器在冲击力的作用下切入土层。钻杆在垂直压力(包括自重力)作用下会产生纵向弯曲,而纵向弯曲的临界长度L可由欧拉公式求得

$$L=\sqrt{\frac{CEJ}{P}} \tag{15-6}$$



1－吊锤;2－打箍;3－钻杆;4－取土器

图15-21　上击式取土器

式中:P为垂直压力,N;E为钻杆钢材弹性系数,$E=2210^{10}\mathrm{N/m^2}$;J为转动惯量,

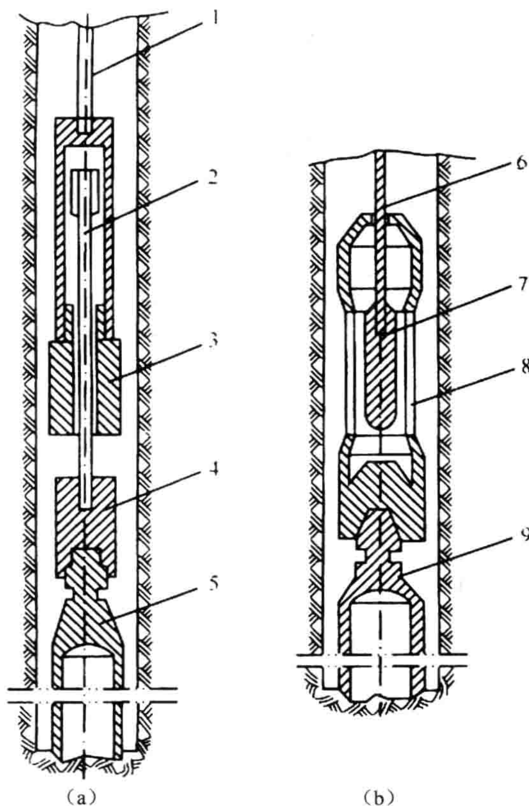
$$J=\left(d_{15}-d_0^4\right),$$

d_1为钻杆外径,cm;d_o为钻杆内径,cm;C为系数,因钻杆柱上端自由,下端被取土器固定,故$C=\frac{\pi}{4}$。

当L大于取样深度时,钻杆柱不会产生纵向弯曲,采用上击式取土是有效的。但当L小于取样深度时,钻杆柱产生了纵向弯曲,最大弯曲点接触孔壁,使传至取土器的冲击力大大减弱,在这种情况下上击式取土效果差。另外,钻杆本身也是一个弹性体,当重锤下

击时,极易产生回弹振动,因而容易造成土样扰动。由于存在上述缺点,上击式取土法只适用于浅层硬土中。

(2)下击式取土法:此法是在孔上用人力或机械提动孔下重锤或重杆直接往复打击取土器,使其切入土层取样的方法。图 15-22(a)所示,为在孔下取土器钻杆上套一个串心重杆,用人力或机械提动重杆使之往复打击取土器而进行取土。图 15-22(b)所示,为用钢丝绳提动重锤打击取土器而进行取土。



1 – 钻杆;2 – 滑杆;3 – 串心重杆;4 – 打箍;5,9 – 取土器;
6 – 钢绳;7 – 重锤;8 – 导正套

图 15-22 下击式取土法

在提动重杆或重锤时,应使提动高度不超过允许的滑轮距离,以免将取土器从土中拔出而拔断土样。

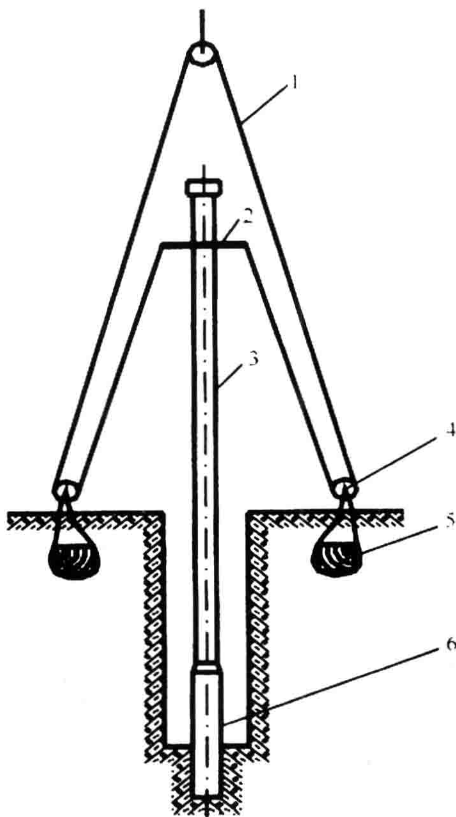
下击式取土法由于重锤或加重杆在孔下直接打击取土器,避免了上击式取土法所存在的缺点,因此,它具有效率高、对土样扰动小、结构简单、操作方便等优点。

2. 连续压入取土法

如图 15-23 所示。此法是用组合滑轮装置将取土器一次快速压入土中进行取样的方法,故又称组合滑轮压入取土法。

采用此法,由于取土器快速均匀地被压入土层,土样来不及产生压缩或膨胀变形就

顺利进入取土管中,因而能很好地保持其天然结构状态,土样的边缘扰动也小。



1 – 压入钢丝绳;2 – 限位卡;3 – 钻杆;4 – 固定滑轮;5 – 埋枕;6 – 取土器

图 15-23　连续压入取土法

此法一般用于在浅层软土中采取土样。

3. 断续压入取土法

由于设备条件的限制,无法采用连续压入时,则可利用钻机的给进装置实现断续压入取土。如使用手把式钻机等。

4. 回转压入取土法

此法适用于取样钻孔较深,土层较硬无法使用压入、击入法的机械回转钻孔中采取原状土样。

机械回转钻进时,可采用旋转式取土器进行干钻采取土样,即边回转边取土。

如需要采用冲洗液清孔钻进时,可用回转压入式取土器,即双层岩心管取土器,采取深层坚硬土样和砂样。取土时,外管回转克取土层,内管承受轴心压力而压入取土。由于内管与外管为单动,因此,内管只承受压力而不回转。外管克取的土屑由冲洗液循环而携出孔外。当泵量过小时,土屑不能全部排出孔口就会妨碍外管钻进,甚至进入内、外管之间造成堵卡,使内管随外管回转而扰动土样。

现将回转压入取土工艺如表 15-6 所示,以供参考。

表 15-6　回转压入取土工艺表

岩层	技术参数			内管超前值 Cm	泥浆性能		
	钻压 N	转速 $r \cdot Min^{-1}$	泵量 $L \cdot Min^{-1}$		黏度 s	相对密度	含砂量 %
坚硬岩层	3000 ~ 4000	70 ~ 100	50 ~ 100	1 ~ 2	18 ~ 20	1.15 ~ 1.25	<7
砂层	300 ~ 5000	70 ~ 120	15 ~ 40	2 ~ 4	20 ~ 25	1.15 ~ 1.25	<7

回转压入取土过程中,应尽量不提动钻具,以免提动内管而拔断土样,即使在不进尺需要提动钻具时也应控制提动距离,使之不超过内管与外管的滑动范围。

(四)影响原状土样质量的因素

影响原状土样质量的因素是多方面的,除取土器结构和取土方法等因素外,还应考虑下述因素对土样质量的影响。

1. 钻孔的垂直度

钻孔的垂直度直接影响土样的质量与试验资料的准确性。如钻孔倾斜,在下放取土器时,取土器会刮削孔壁而使余土过多,因而使土样受挤压而扰动。另外,由倾斜钻孔中取出的土样也是倾斜的,用这些土样进行试验所获得的物理力学性能指标就不符合实际情况,用其进行工程计算就会产生差错。因此,在钻孔施工过程中采取预防孔斜措施,保证钻孔的垂直度,是获得质量良好的原状土样的一个重要因素。

2. 孔内清洁度

在采取原状土样时,如孔底残存的废土、碎屑过多,同样直接影响土样的质量与试验资料的准确性。一方面残存的废土、碎屑会使土样受挤压扰动;另一方面残存的废土、碎屑将被压入取土器中造成试验样品长度不足,如用该原状土样进行试验,则所获得的物理力学性能指标亦不符合实际情况。

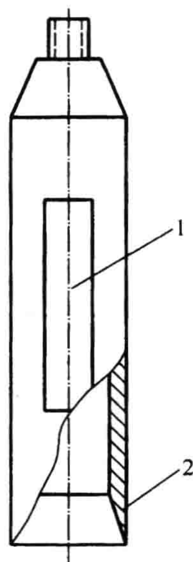
因此,在采取原状土样前,必须进行清孔工作,只有彻底清除孔底残余的废土、碎屑才能保证采取原状土样的质量。

常用的清孔方法和清孔工具如表 15-7 所示。

清孔工具有以下几种:冲击清孔器(如图 15-24 所示)、砂土清孔器(如图 15-25 所示)、套螺钻清孔器(如图 15-26 所示)、人字肋骨钻头(如图 15-27 所示)、鱼尾钻头(如图 15-28 所示)。

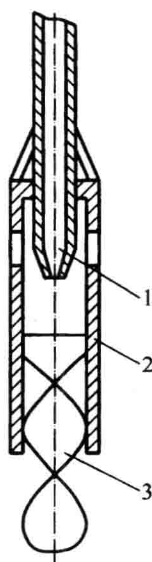
表 15-7　清孔工具的选用表

软黏土	较硬土层	坚硬土层	砂与黏性土	
回转干钻清孔	空心麻花钻套螺钻			
回转冲洗清孔		人字肋骨钻头	鱼尾钻头冲击清孔器	砂土清孔器
冲击干钻清孔		冲击清孔器		抽筒



1－开口;2－管鞋

图 15-24 冲击清孔器



1－喷射口;2－外套;3－麻花钻头

图 15-25 砂土清孔器

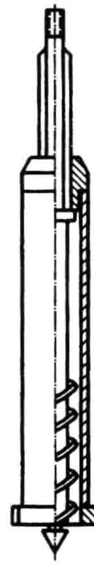


图 15-26 套螺钻

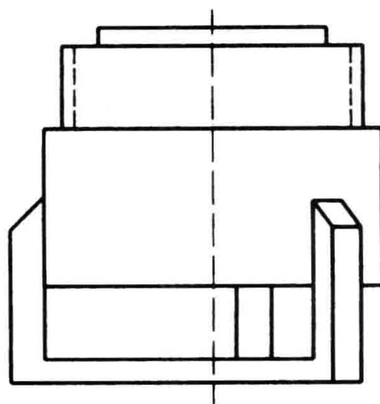


图 15-27 人字肋骨钻头

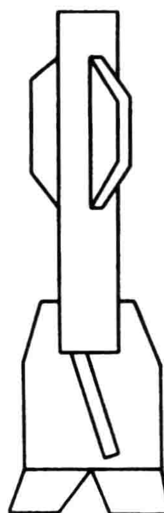


图 15-28 鱼尾钻头

冲洗清孔技术要求如表 15-8 所示。

表 15-8 各种土层清孔要求

	清孔时间/min	清孔工具距孔底距离/cm	清孔水量/($1 \cdot min^{-1}$)	清孔工具
软硬土层	5～10	15～25	120～150	人字肋骨钻头
坚硬土层	5～10	0～10	<150	鱼尾钻头
砂、砂性土	5～15	0～10	最大	砂土清孔器

3. 取土器切入土层的速度

在取土器进入土层的过程,虽然取土器内壁平直而光滑,但如切入土层的速度较慢,则由于土样的侧向膨胀会使土样与取土器内壁摩擦而产生扰动;反之,如取土器切入土层速度快,不待土样膨胀,土样已顺利进入取土器中,因此,扰动程度就小。由此可见,提高取土器进入土层的速度,也是获得质量良好的原状土样的又一个重要因素。

取土器进入土层的速度与压入力或击入力的大小和土层结构(如天然孔隙率)等因素直接有关。

4. 土样的封装、保存和运输

土样自取土器内取出后,如果不按规定要求进行封装、保存和运输,则会失去土样的原状结构及性能,严重时甚至会造成土样破裂。因此,原状土样的封装、保存和运输等工作应按以下要求进行。

土样自取土器内取出后,应立即用盖将衬管两端盖严,衬管内未填满土样时,可填入石蜡,以免土样在衬管内滑动。然后用胶布密封衬管接缝处,并在其上粘上标签,注明土样上下端,最后将整个衬管涂上熔化的石蜡。

封好的土样,应放入特制的土样箱内,并在其周围用稻草、废纱头等物塞紧,以防震动而使土样扰动。保存处的温度一般以 5 ~ 20℃ 为宜,冬天应保持温度在 5℃ 以上,以防土样结冰而破坏其原状结构。夏天应避免高温,最好在存土样箱周围盖以草垫等物,用以隔热,并洒水润湿,使之具有一定的湿度。

土样运输时应轻、稳和放置牢靠,防止在运输过程中土样箱摆动或滑落。

三、砂砾石层、细砂及淤泥层取样

对砂砾石层和细砂层的取样要求是:样品应保持原颗粒级配;不遗漏砾石间的细砂及土颗粒,以分清其中的夹砂层和夹砂泥层。

常用的取样器有以下两种:

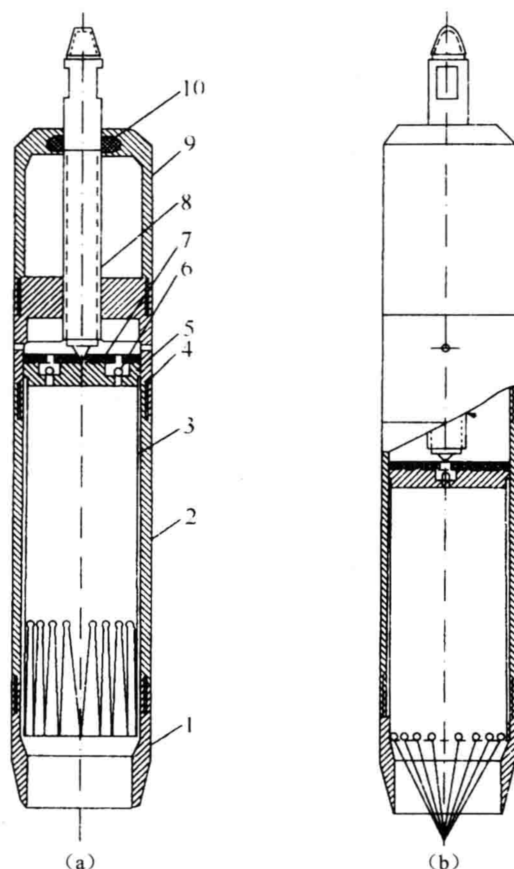
(一) 砂砾层取样器

砂砾层的特点是颗粒松散不均匀,没有黏结力和附着力。因此,取样器下端需设有关闭机构,以防样品脱落。

砂砾层取样器的结构如图 15-29 所示。取样器外管下端接有管鞋,外管上端用丝扣连接在带有右旋压入丝杆的外管接头上。外管内装有带抓捞切齿的取样筒,丝杆下端的顶锥与取样筒上盖接触。在上盖上设有防砂毡垫,以防泥砂进入外管与取样筒之间的环状间隙内。

为了保证丝杆不受泥砂影响而能正常工作,在外管接头上用丝扣连接有能安装防砂塞线的保护帽。取样时,取样器中的水顶开出水球阀,由外管接头的水孔流出。

取样前,将取样器如图 15-29(a)所示的状态安装后下入钻孔。压入地层取样后,转动钻杆,此时因外管与土层接触摩擦而不能转动,故丝杆顶锥通过上盖使取样筒向下移动,由于管鞋内壁斜面的作用,迫使取样筒下端抓捞切齿封闭,如图 15 ~ 29(b)所示。



1－管鞋;2－外管;3－取样筒;4－外管接头;5－取样筒上盖;6－出水球阀;
7－防砂毡垫;8－丝杆;9－丝杆保护帽;10－防砂塞线

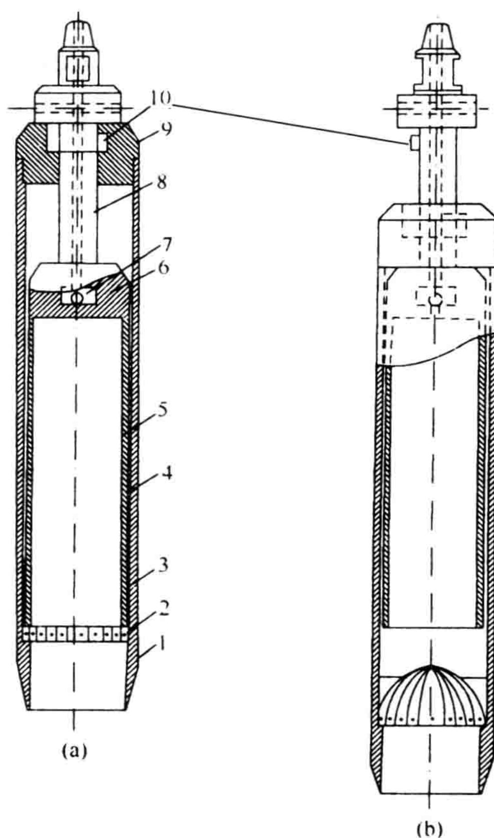
图 15-29　砂砾层取样器

(二)细砂层及淤泥取样器

细砂层及淤泥的特点是颗粒非常细小,松散无黏结性,易流动,与取样器之间无附着力。因此,取样器下端必须有一定机构将样品从底部托住。

取样前,将取样器如图 15-30(a)所示的状态安装,此时钻杆接头的卡销置于外管接头中的卡槽内,取样管位于管鞋上端而将铆接在管鞋内的弹簧片藏于内管与取样筒之间。将取样筒下人钻孔中压入取样结束后,使钻杆回转一定的角度,则卡销脱离外管接头的卡槽,然后提升钻杆。开始,外管不动,而取样筒随钻杆上升,当取样筒与外管接头接触时,外管下端的弹簧片即自行封闭而将样品托住,如图 15-30(b)所示。再继续提升钻杆,则取样器即可提至地表。

实践证明:这种取样器能可靠地采取淤泥、细砂及其他附着力小的样品。



1－管鞋;2－铆钉;3－弹簧片;4－外管;5－取样筒;6－取样筒接头;
7－球阀;8－钻杆接头;9－外管接头;10－卡销

图 15-30　弹簧封闭式取样器

第四节　触　　探

触探是在外力作用下,使探杆下端连接具有一定形状和尺寸的探头插入土层,根据贯入、回转和起拔时的阻力来测定土层的物理力学性质的一种现场测试方法。它具有设备简单、操作方便、速度快、劳动强度低、能较灵敏地反映土质的变化和较全面地提供土层的物理力学性能指标等优点。因此,触探已被广泛应用于工业与民用建筑的工程地质勘察工作中。

根据外力性质的不同,触探可分为动力触探和静力触探两大类。

一、动力触探

(一)圆锥动力触探

动力触探是利用一定的落锤能量,将一定尺寸的圆锥形探头打入土中,根据打入土

中的难易程度来测定土的性质。

探头击入土中的难易程度,是用触探指标来衡量的。所谓触探指标,就是一定规格的探头在一定条件下击入一定深度的锤击数,或者是一定规格探头在一定条件下每一锤击的贯入深度。

应用动力触探,可以达到以下目的:

1. 定性地划分土层

当土层的力学性质有明显的差异,而在触探指标上有明显反映时,可以根据不同的触探指标进行分层和定性地评价土的均匀性,检查填土质量以及探查滑动带和土洞等。

2. 定量地确定土的物理力学性质

利用触探指标与土的物理力学性质间已建立的经验相关关系,根据获得的触探指标确定土的有关物理力学性质,如确定砂土的密度、砂土和黏性土的容许承载力及变形模量等。但是,动力触探所用各项设备的参数、操作方法必须和建立经验相关关系的设备参数、操作方法基本相同,试验土层的地质成因、埋藏条件、岩性结构、物理性质等也必须和建立经验相关关系的土层基本近似。

由于动力触探是将一定形状的探头打入土中,因此,它一般只能适用于砂土、黏性土、黄土、人工填土和较松散的小颗粒碎石土。在基岩、密实的大块碎石以及含有块石、漂石的黏性土中,一般不能应用动力触探。

目前,动力触探设备的规格较多,用不同规格的设备所得的指标是不同的。因此,一定要利用与其设备规格相同的有关相关关系,才能根据触探指标确定土的有关物理力学性质。

动力触探试验的主要成果是锤击数和锤击数随深度变化的曲线。

目前常用的几种圆锥动力触探类型如表 15-9 所示。

表 15-9 圆锥动力触探类型表

类型		轻型	重型	超重型
落锤	锤的质量/kg	10.4 –0.2	63.5 ±0.2	120 ± 0.2
	落距/cm	50 ±2	76 ±2	100 ±2
探头	直径/cm	40	74	74
	锥角/(°)	60	60	60
探杆直径/mm		25	42	50 ~ 60
触探指标	贯入深度/cm	30	10	10
	锤击数	Ⅳ10	Ⅳ63 5	Ⅳ120
适用岩层		浅部的填土、砂土、粉土、黏性土	砂土、中密以下的碎石土、极软岩	密实和很密实的碎石土、软岩和极软岩
最大贯入深度/m		4 ~ 6	12 ~ 16	20

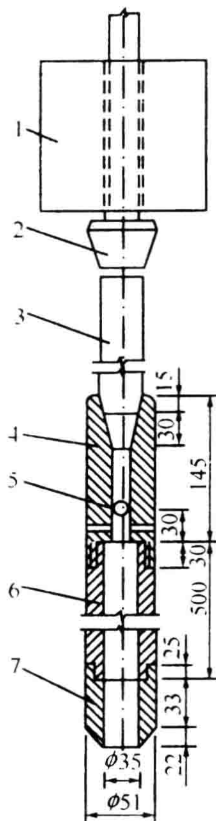
(二)标准贯入试验

标准贯入试验,实际上仍是动力触探,其不同之处是触探头不是圆锥形,而是由两个

半圆管合成的圆筒形。在贯入的同时,还可以采取土样。这种触探头一般称为贯入器。

标准贯入试验是利用落锤产生的一定重力将贯入器打入土中,根据贯入的难易程度来测定土的性质。一般可用于测定砂土的密度或黏性土的状态、确定砂土及黏性土(包括老黏性土和一般黏性土)的允许承载力,推算砂土及黏性土的抗剪强度,评价土在地震作用下强度降低的可能性。

标准贯入试验设备如图 15-31 所示。



1 - 穿心锤;2 - 锤垫;3 - 触探杆 4 - 贯入器头;5 - 出水孔; 6 - 半合管;7 - 贯入器管靴

图 15-31 标准贯入试验设备

标准贯入试验应与钻探配合进行。先利用钻探工具钻进到需要进行试验的土层,清孔后,使用外径为 42 mm 的手摇钻钻杆,将标准贯入器下至孔底,并量得深度尺寸,然后,用 63.5 kg 的重锤、76 cm 的自由落距,将贯入器打入试验土层中。先打入的 15 cm 不计击数,继续贯入土中 30 cm,记录其锤击数。此数即为标准贯入击数 $N_{63.5}$。拔出贯入器,取出土样,并进行描述记录。

一次贯入完毕后,再换用钻探工具继续钻进至下一需要进行试验的深度,再重复上述标准贯入试验工作。一般可每隔 0.5 ~ 1 m 进行一次试验。在不能保持孔壁稳定的钻孔中进行试验,应下套管保护孔壁。

若土层比较密实,贯入 30 cm 的锤击数超过 50 击时,亦可选用贯入量小于 30 cm 的

锤击数,但需按下式换算成贯入 30 cm 的锤击数:

$$N_{63.5}=30\times\frac{n}{\Delta s} \tag{15-7}$$

式中:n 为选取的任意贯入量的锤击数;ΔS 为对应锤击数 n 的灌入量,cm。

标准贯入试验的指标 $N_{63.5}$为每贯入土中 30 cm 的锤击数。当钻杆长度大于 3 m 时,锤击数 $N_{63.5}$应按下式进行校正:

$$N_{63.5}=\alpha N' \tag{15-8}$$

式中:N'为实测锤击数; $N_{63.5}$为校正后的锤击数; 为钻杆长度校正系数(如表 15-10 所示)。

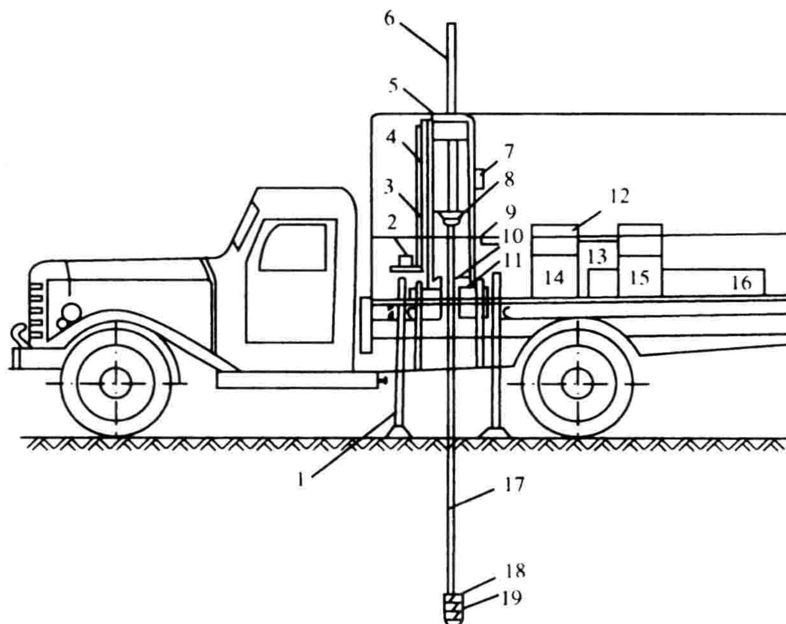
表 15-10 杆长校正系数

触探杆长/m	≤3	6	9	12	15	18	21
校正系数	1.00	0.92	0.86	0.81	0.77	0.73	0.70

二、静力触探

静力触探是利用压力装置将探头压入试验土层,用电阻应变仪测量出土的灌入阻力,电测技术使测试贯入阻力的精度大大提高,能实现数据的自动采集和自动绘制静力触探曲线,反映土层剖面的连续变化。静力触探试验可评价土的岩土工程参数,对岩土工程问题(地基承载力、单桩承载力、砂土液化等)作出评价,是一种有效的原位测试手段。

如图 15-32 为静力触探示意图,该装置的组成如下:



1－调平支撑座;2－电动机;3－传动皮带;4－支架;5－减速箱;6－丝杆;
7－开关;8－导向夹具;9－电缆;10－深度记录仪; 11－导向管;12－记录仪;
13－车棚;15－稳压电源;15－电源;16－探杆箱;17－探杆;18－测水位接头;19－探头

图 15-32 静力触探示意图

1. 加压系统

加压系统包括支架、触探杆、卡杆器等。其压入方式有两种:一是利用液压将探头压入土中;二是利用机械能将探头压入土中。

2. 反力系统

在将探头用加压机压入土层中时,由于地层反力作用,往往将加压机械抬起,故应采用反力系统抵消地层反力。

常用的反力系统包括:

(1)地锚反力:一般用 2 ~ 8 个地锚,但下地锚比较困难,且工作时地锚易于上拔。

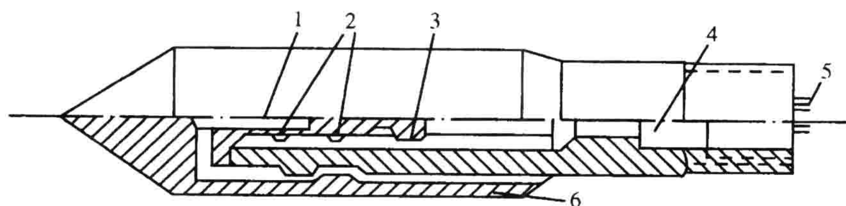
(2)伞形锚反力:先用钻机打孔,再用扩孔器将伞形部分扩大,然后下入伞形锚,并使其张开。下入深度可根据所需反力大小确定。

(3)利用设备本身重力作为反力,如利用汽车自重等。

3. 测量系统

测量系统包括探头、四芯电缆和电阻应变仪等。

(1)探头。探头有两种类型,一种是目前国内普遍采用的单桥探头,如图 15-33 所示。该探头由外套筒、顶柱和空心柱三部分组成。利用单桥探头测量比贯入阻力 ps。



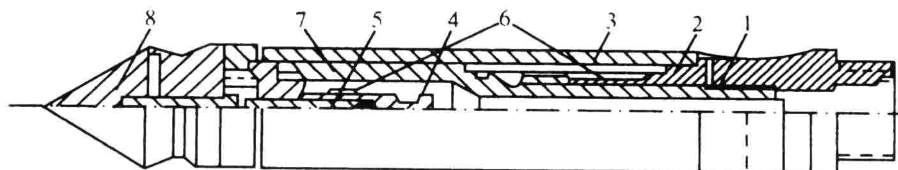
1 - 顶柱;2 - 电阻应变片;3 - 传感器;4 - 密封垫圈套;5 - 四芯电缆;6 - 外套筒

图 15-33　单桥探头结构图

比贯入阻力 Ps 是指探头周贯入阻力 P 与锥尖底面积 A 的比值,即

$$Ps = \frac{P}{A}$$

另一种是双桥探头,如图 15-34 所示。其构造原理与单桥探头基本相同,只是增加一组测量侧壁摩擦的电阻感应片。这种探头能分别测出探头尖端阻力和探头侧壁摩擦阻力,同时还有可能代替钻探解决土的分类问题。



1 - 传力杆;2 - 摩擦传感器;3 - 摩擦筒;4 - 锥尖传感器;

5 - 顶柱;6 - 电阻应变片;7 - 钢珠;8 - 锥尖头

图 15-34　双桥探头

双桥探头同时测定锥尖阻力 qc 和侧壁阻力 fs:

$$qc = \frac{Q}{A} \tag{15-10}$$

$$fs = \frac{P_f}{F} \tag{15-11}$$

式中:Q 为锥尖总阻力;Pf 为侧壁摩阻力;A 为锥底截面积;F 为摩擦筒表面积。

探头安装后,应进行标定。其方法是:先逐级加荷,并在应变仪上读出每级加荷的应变量,绘制标定曲线,作为实例计算时的依据;然后逐级卸荷,并读出相应的应变量,以便复核。标定工作应至少进行 2 ~3 次。对标定不合格的探头(不成直线)应重贴电阻应变片。根据每个探头所作的标定,把应变仪的读数换成贯入阻力值。

(2)电阻应变仪。电阻应变仪是在地面接收孔内电量变化而显示读数的仪器。其原理是接收因空心柱变形而输出的微弱电信号,这个信号经应变仪中的放大器放大(几百倍至几千倍后),由指示仪表显示出来。因而随着探头的压入,能在读数盘上直接读出空心柱的变化值,从而能在标定直线上查出不同深度土层的贯入阻力。

静力触探实测工作进行顺序如下:

(1)将设备安装好后,测读仪器的读数,然后将探头贯入地面以下 0.4 ~0.5 m 深处提起探头约 5 cm,使探头在不受压状态下,记录初读数,然后开始贯入。

(2)贯入速度控制在 0.5 ~2 cm/s。

(3)每隔 5 ~10 cm,读一次微应变,但可视土层特点及工程要求而定。

(4)贯入 0.5 m 后,提升探头,再测一次初读数,以便与第一次的初读数比较。若差值较大时,应立即检查原因。在贯入过程中也应注意复查初读数,以确定可靠的初读数。

(5)接探杆时,切勿使入土探杆转动,以防止探头处电缆被扭断,同时严防电缆受拉而破坏密封装置。

(6)贯入至预定深度后,提起探头 5 cm,测一次初读数,然后才能起拔探杆。

复习思考题

1. 工程地质钻探有什么特点?
2. 振动钻进的实质是什么?
3. 工程地质钻探对振动器有哪些要求?
4. 钻具振动沉入地层的条件有哪些?
5. 螺旋钻进有哪些优点?
6. 简述螺旋钻进轴心压力的构成及转速的作用。
7. 原状取土器的基本技术参数有哪些,各有哪些基本要求?
8. 采取原状土样的方法有哪些?
9. 影响原状土样质量的因素是什么?
10. 什么是静力触探、动力触探、标准贯入试验?

第十六章　钻探工程发展趋势

一、外太空考察中的钻探工程

考察外太空是全人类的梦想，寻找外星球的生物踪迹，探索未来外星球人类生活条件等是人类探索的重大题材。美国于1969年做过月球钻探。1997年可以说是人类考察外太空、探索宇宙的奥秘的高峰年。考察火星的"探路者"在火星上登陆，发回了数以万计的照片和数据，这是人类考察外星球的一次创举，是人类进入外太空的一个里程碑。1998年伊始，美国又成功地发射了第二代轻型"月球勘测者"航天器，以寻找月球的南极和月球背面有没有冰、水和矿藏，并测绘月球表面图，确定引力场、磁场，目的是为了人类将来可能移居月球探寻生存条件。1998年夏季预测月球上有1亿多吨淡水。如此等等说明过去的50多年里外行星科学探测技术得到了迅猛的发展。

根据美国国家航天局（NASA）的计划，钻机将钻入火星地表以下少至0.3 m，多则2 m的深处。钻机体积不大，将搭乘火星着陆器启程。要钻破火星的外壳，就必须与之高速碰撞，即每小时的速度达到720 km（每秒200 m）。为预防碰撞造成其他仪器失灵，还配备了两个分别重80 kg和30 kg的保护装置。强烈的碰撞使钻机陷入火星地表以下，以便发现有可能存在的冰层，同时在火星表面留下一个备有压力感应器及数据传递仪器的平台，这个平台的高度只有15cm。撞击式钻入只是为了解这一系统的可行性而进行的首次尝试，如果成功，它将被委以其他使命。勘测将在电池耗尽之前(50h左右)完成。随后，数据将由火星探测器传回地面。

二、大陆科学钻探

大陆科学钻探是地学界举世公认的深化地球科学研究的前沿学科。

1991年地矿部深部地质研究项目"中国大陆科学钻探先行研究"启动，标志着正式开展大陆科学钻探研究工作。

1995年，地矿部开始申报国家重大科学工程项目，旨在通过在我国的大别—苏鲁超高压变质带实施科学钻探获取信息，研究这一世界上规模最大、为国际地学界广泛关注的超高压变质带。1997年地矿部第三次参加国家计委、科委组织的国家重大科学工程专家评议会，申报的项目"中国大陆科学钻探工程"受到了专家的好评。此后，国家科技领导小组讨论了由计委选出上报的项目，将"中国大陆科学钻探工程"列入"九五"第二批实施的国家重大科学工程项目。

1997年8月，"中国大别—苏鲁超高压变质带大陆科学钻探工程国际讨论会"在青岛举行。会议的中心议题是"中国大陆科学钻探工程"的科学目标和选址。经过深入交换

意见后,达成了较为一致的认识,确定首选江苏东海县作为实施中国第一项大陆科学钻探工程的地区。

1997 年 9 月 8 日国家科技领导小组办公室以第 42 号简报公布批准作为“九五”国家重大科学工程第二批项目之三。

21 世纪初我国形成了大陆科学钻探施工与地质学研究高潮,此前围绕具有中国特色的钻探先进工艺启动以下重点科研与开发项目:

①适应坚硬(7 ~12 级)强研磨性岩层的金刚石钻头;

②实现全孔取心钻探工艺;

③采用满眼钻具高稳定性绳索取心钻具;

④采用孔底动力机驱动钻具;

⑤采用小口径钻孔结构;

⑥研制顶部驱动钻机;

⑦研制并实行自动控制钻进系统。

三、实施新一轮国土资源大调查

按照国土资源部的安排,新一轮国土资源大调查要突出一个“新”字,要有新的理论,新的目标和新的技术方法,要在以往地质调查的基础上全面创新。钻探工程界认为要实施“立体国土资源大调查”的新方法。

其指导思想是:充分利用国土资源部在人才、设备、科研、成果、工种等方面的优势,为 21 世纪的钻探工程作出更大的贡献。

①利用遥感航测飞机有计划地拍摄地面航片,航片可以显示地形、地貌、地裂缝、植被、土壤颜色,以及其他地质现象,在实验室将航片图按比例尺测绘出地质图,这样做不仅效率高,而且信息量比人工测绘和填图要快而准确得多。

②地面利用各种实用而有效的地球物理、地球化学方法完成各种地下磁、电、地应力、地热等参数的测量。

③充分利用从特浅到深的各种钻探设备取得自零米至一定深度的土壤,获取地质第一手实物信息,例如:

a. 用手提式 2 m 浅钻采取地磁样品;

b. 用手提式 2 ~3 m 浅钻采取土壤或矿物露头样品;

c. 用轻便式(5 ~30 m)钻机系列采取较深层次的土壤矿物露头样品;

d. 在有矿物资源前景的地区(重点图幅),打 1 ~2 口基准钻孔(或地层钻孔)以了解深部地层实况,为找深部矿产资源作好储备;

e. 重要矿点和特殊地质点要用 GPS 测出地理坐标;

f. 淡水资源事关人类生存,特殊缺水地区应配备 200 ~1000 m 车装钻机探求水源。

④工作重点瞄准:

a. 全国矿产资源潜力调查;

b. 能源矿产远景评价;

c. 西南三江地区特别找矿计划;

d. 欧亚大陆桥西段矿产勘查;

e. 西部找水特别计划;

f. 海洋矿产战略调查;

g. 参与国外矿产勘查;

h. 地质灾害调查预警工程;

i. 环境生态工程调查等。

四、21 世纪是开发海洋固体矿产的新时代

随着陆地矿产资源消耗的日益增多,储量的日益减少,科学家们预言,海洋将成为人类深入广泛开发的一个新领域。海洋覆盖了地球表面的70% ~71%,是全球人类与生物的支持系统的基本组成部分之一,是各种固体、油气、生物资源的宝库,又是地球和大气环境的巨能调节器。中国拥有海岸线超过 18 000 km,海域面积在 300 万 km^2,海岛达 5000 多个,岛岸线约 14 000 km。1994 年 11 月《联合国海洋法公约》正式生效后,中国以"先驱投资者"资格被联合国批准,列印、俄、法、日之后,居第五位,在北太平洋上西经 138° ~158°,北纬 7° ~15°区域内拥有一块 15 万 km^2 的多金属结核矿区,由我国进行勘探开发。按《公约》规定于 1999 年要交回一半作为联合国的保留区,余下的 7.5 万 km^2 的高丰度矿物区则由我国作为专属开发区,面积大约相当于渤海那么大。据估计在这块矿区内,锰结核的资源量约 9.7 亿 t,属富矿区,预计开采期为 20 年,可综合回收锰、铜、镍、钴四种金属,大约 11 年以后就可以收回成本,矿区水深大约 5000 ~6000 m。

那么深海多金属结核钻探开发的进展如何呢?

①我国政府成立了协调管理国际海底矿产钻探开发的专门机构,并把大洋矿产勘探开发列为国家长远发展项目给予专项投资,我国科研、探矿、海洋地质调查力量雄厚,参与这项深海采矿工作具有深刻的历史意义。

②大规模钻探已经展开,地矿部广州海洋地质局的海洋 4 号远洋科学考察船已于 1997 年 11 月 12 日胜利完成 DY—95—7 航次,勘察了东区多金属结核,力争探明部分储量,并圈出 1999 年先期交还联合国的 20% 地区,采集了 3489.7kg 的金属结核样品。

据介绍,我国对国际海底区域的勘查工作始于 20 世纪 70 年代中期。为了更有效地开展在这一领域的工作,1990 年我国成立了中国大洋矿产资源研究开发协会,并于 1991 年在联合国登记为"先驱投资者",在东北太平洋拥有一块面积为 15 万 km2 的开发区。经过"八五"、"九五"共 9 个航次的海上勘查和大量的室内分析、测试工作并结合一批科研课题的成果,中国大洋矿产资源研究开发协会按《联合国海洋公约》的有关要求,进行了卓有成效的工作,使我国最终取得了面积达 7.5 万 km2 的多金属结核矿区。

这一成果是在国家计委、财政部的大力支持下,在国家海洋局、地矿部、冶金部、有色金属总公司等 4 个业务依托部门的通力合作下取得的。

③列入"863"计划的 6000 m 水下无缆自动机器人已多次深入海底做矿产、地形、地貌的探察,其成果震惊全世界。

④1997 年 12 月结束的中国大洋矿产资源开发工作会议认为：通过“八五”计划期间广大科技人员的努力，我国已具备了开发研究深海海底资源的基础和能力。根据已有信息资料有多种深海采集矿石方法可以按已有钻探工艺和坑道铲运机原理进行研制，如：

a. 深海气举反循环采矿法—海面船只收集矿物结核。此法经济、效率高（如图 16-1 所示）

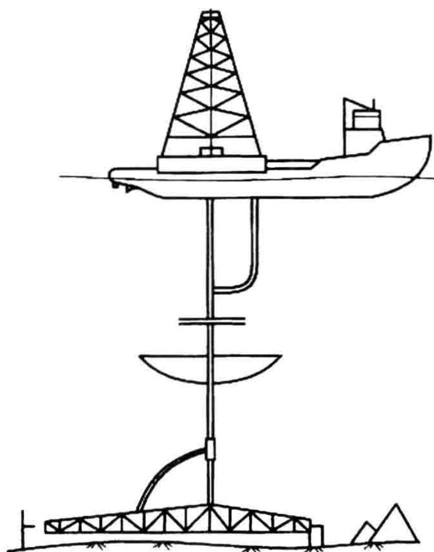
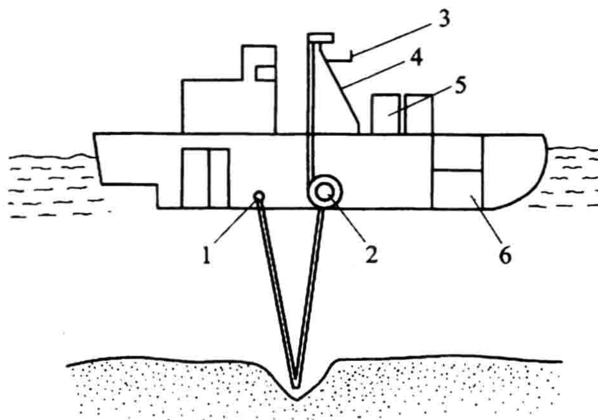


图 16-1　深海气举反循环采矿示意图

b. 喷射式采矿船（如图 16-2 所示）



1 – 喷射泵；2 – 砂泵；3 – 筛；4 坡道；5 净化器；6 – 矿仓

图 16-2　喷射式采矿船

c. 多种多样的深海抓斗与拖动式耙矿机

五、南极洲、北极周边岛屿及冰川、冻土钻探

南极洲冰盖的冰心钻探始于 20 世纪 30 年代，美国、日本，后来智利、澳大利亚和苏联等国家都从事了这项研究工作。研究南极冰盖和冰川对一系列极地科学，如地理学、冰

川学、古气候学、地质学、地球物理学、地球化学、微生物学以及南极大陆冰层下的矿产资源、水资源、生物资源等,都有重要意义。

南极科学研究是在长期综合计划,即《国际南极冰川计划》、《极地试验计划》、《全球大气作用研究计划》等范围内进行。南极集中了近3000万 m^3 冰,大陆中心部分厚度超过4.5 km,引起了各国的特别兴趣。对南极进行有计划的综合研究已经50多年了,参加此项研究的有苏联、美国、日本、法国、新西兰、阿根廷、巴西、智利、德国、波兰、印度等国。中国在1970年参与了此项研究。

全部取心钻探是研究极地部分冰层结构、构造、物质成分和变化的最重要和最有效的方法。利用这种方法可以对深部位的冰进行晶体形态研究,对孔内进行地球物理观测,研究氧、碳及各种包体如地尘、宇宙尘、火山灰、细菌、植物孢子等的同位素含量。在冰川和冰川下面的岩石中进行矿床地质勘探有着很大的意义。

南极环境特殊,路途非常遥远,没有道路,气候恶劣,影响研究工作的开展,并对钻探设备、钻探工艺、钻探工作的组织和钻探人员提出特殊的要求。多年来世界上只有两个钻孔的深度略超过2000 m,一是南极美国贝尔德站打的一个钻孔达2164 m,二是苏联东方站打的钻孔2202 m,事实说明冰中钻探是非常难的。

进入20世纪80年代,全球出现厄尔尼诺现象,危害范围越来越广,一个研究全球性气候变化的热潮在全世界兴起。以我国为例,先后实施过黄土高原季候风计划,青藏高原一带冰川、冻土层的一系列取心(取样)计划,最高海拔取冰心高度达7000 m,堪称世界之最。在南极的中国长城站已在广泛领域开展了冰心、冰雪取样工作,但钻探设备、工具、技术都十分落后,急待进一步提高。1999年2月我国南极冰盖科考队,行程超过1000 km,克服重重困难,第一次到达南极冰盖,成为世界上第一个到达冰盖的科考队。

值得一提的是,国际上自1990年开始执行了一项宏伟的格陵兰国际冰心钻探研究计划(GRIP),由法、德、英、比、意、冰岛、丹麦和瑞士等国的40多位科学家共同参加,欧洲科学基金会提供了800万美元的经费。钻探的目的是钻透经过20万年积压起来的雪而形成的厚冰层,从而揭示过去20万年期间气候变化下的密封气泡和埋没的各种冰晶体,探求火山喷发及历次核爆炸微尘等对冰层的影响。

中国第十五次南极科考创造了我国南极科考史上的多项第一:

①首次深入南极内陆冰盖1100 km,抵达冰盖最高区域——海拔4000多m的DOME—A区域,从而成为国际横穿南极计划实施以来第一支闯进这一"禁区"的考察队。

②在冰盖最高区域,考察队首次利用钻机钻取了百米冰心、冰屑,创造了新的纪录。初步判断冰心年龄超过600岁,为南极科学和气候变化研究提供了宝贵的科学数据。

③由地质、测绘、遥感等专业4名科学家组成的格罗夫山地质科学考察队,首次挺进距中山站500km的格罗夫山,完成了在这一区域的地质调查,而且在该地区首次发现了4块南极陨石。

④首次在南极附近海域释放了自动浮标——沉积物捕捉器,捕捉器将在1年的工作时间里,自动定时收集海水中的沉积物和悬浮体,以及大气中的尘埃等物质。

⑤首次在中山站附近海域发现了适合考察船停泊的锚地,结束了我国在东南极无锚

地的历史。

⑥“雪龙”号科学考察船不仅首次利用陆缘海水完成大型物资卸运,还通过长达 4 海里的作业,首次完成预定浮水区的观测站位调查。

⑦中山站首次启用了具有国际先进水平的污水处理站,并首次将建站 10 多年的积存的 200 多万 t 垃圾和废弃物装运上船,并随船运回国。

六、大规模交通基础建设为钻探工程提供良好机遇

近几年,国家对交通基础建设进行了空前大投入,以大大改善公路、铁路、地铁等基础的客货运输能力,同时也拉动长期处于低迷状态的钢铁、机械、化工、勘察等大型工业,有力地促进了国民经济的良性循环。

交通基础建设投资规模巨大,工程种类繁多,施工地点遍及全国,给钻探工程提供了前所未有的机遇。

①钻探工程队伍遍布全国,有长期在野外工作的锻炼,各地的队伍可以就近参与或支援交通建设。

②交通建设运用钻探、掘进工程的地方很多,过去十几年的实践证明,钻探队伍在人才、技术、科研、设备上有足够的优势。在北京地铁西单站的浅埋暗挖的设备和技术与北京西客站配套的鹰山特大型隧道(断面 223.5 m^2,堪称亚洲第一),上海地铁隧道内部整修安装各种电缆和管道,都是钻探队伍承担施工的。

③我国钻探行业有大型机械制造工厂能制造各种钻探工程机械,节约大量外汇。

④我国钻探行业的科研院所有雄厚的科研与开发能力,能解决施工中出现的新技术问题。

⑤我国钻探行业的咨询机构可以承担工程的评估、咨询任务。

七、城市地下管网非开挖铺设技术

我国煤炭资源十分丰富,煤炭年产量连续 20 多年居世界首位,但洁净煤的工程技术滞后。当前我国能源消耗仍然以煤炭为主,占能源消费的 75%,石油仅占 19%,而天然气消费只占 2%,这种不合理的能源结构,造成大气与环境的严重污染。据联合国报告:中国在采煤中,每年向大气中排放的甲烷量达(100 ~ 194)亿 m^3,约占世界总排放量的1/3。甲烷的温室效应是 CO_2 的 20 倍,对臭氧的破坏是 CO_2 的 7 倍,不仅污染我国和周边国家的大气,对世界范围的气温升高也有明显影响。因此,我国已到了非采用高效洁净替代性能源不可的时候了。

专家们预言:21 世纪将是中国逐渐使用天然气的新时代。这里天然气指的是油气田产的天然气和煤层气。

(一)我国发展使用天然气资源的有利条件

①“八五”期间,我国天然气勘探获重大突破,1996 年累计探明储量达 1.51 万亿 m^3,1996 年产气 201 亿 m^3,2000 年可产 350 亿 m^3,2010 年达 700 亿 m^3;

②世界已探明天然气资源的 75% 在亚洲,如邻近我国西西伯利亚、中亚、东北亚等地都发现了大气田;

③邻近我国的能源缺乏的国家,如韩国、日本,想借助我国与周边国家的合作,解决他们的部分需求;

④我国煤层气储量 23 万亿 m^3,在"九五"开发 10 亿 m^3,2010 年开发 100 亿 m^3。

(二)国内自建的天然气输气管道工程

①陕北—北京管道,862 km,已铺通,年供气能力 30 亿 m^3;华北油田日供气30 万m^3;

②吐鲁番—哈密—乌鲁木齐管道已铺通;

③陕北—西安输气管道已铺通;

④川东—武汉正在铺设;

⑤琼东—湛江—深圳—广州计划铺设;

⑥东海平湖 1 井—上海浦东海底管道全长 386 km,已完工;

⑦新疆准噶尔彩南油田—克拉玛依管道已铺通,是我国第一条跨越沙漠的输气管道。全长 290 km,其中贯穿沙漠 180 km,日输气 180 万 m^3。

(三)国际合作长距离输气管道铺设初步方案

①库页岛—哈尔滨—长春—沈阳;

②伊尔库茨克—日照—上海;

③西西伯利亚—武汉—上海;

④哈萨克斯坦的阿克纠宾斯克—克拉玛依—上海。

我国大规模采用高效洁净天然气,大量铺设长距离输气管道,无疑对改善环境,发展工业生产,为"下游"工程—用非开挖技术大规模铺设进入城市和家庭的管网开辟了广阔前景。我们期待着天然气工业的大发展给钻探工程带来宽广而良好的机遇,要抓住这大好机遇发展非开挖铺管技术。

①应该积极研制大功率、多功能、大拖力的水平制导钻机和深尺无线探测仪(探测深度至少 20 m);

②积极研制微型(直径 0.5 ~ 1.0 m)全断面掘进机(Microtunnel TBM),为铺设过江过河管道作准备;

③积极充实中国非开挖技术协会(CSTF)。CSTF 已参加了国际非开挖协会(ISTT),应积极组织我国的工程施工公司参加 ISTT;

④重点引进或研制城市急需的非开挖钻探设备仪器,以及大型气动夯管锤等关键设备;

⑤加速培养非开挖铺管工程的工程师和技术工人;

⑥可寻求与外商合作,建立管线工程公司;

⑦积极开展宣传活动,向有关政府部门、市政部门、设计院所大力宣传非开挖铺管技术工程,充分发挥该技术保护环境、保护生态、不阻塞交通和施工速度快等优点;

⑧积极参与开发我国煤层气的资源。

八、大力发展钻探工程新设备

我国是钻探工程技术装备的生产大国,在 21 世纪高速发展中,我国钻探工程技术装

备应采用新理论、新工艺、新材料(如智能材料、新型钢塑复合材料、纳米材料等),研究设计制造液压、全自动、轻便、自行、多功能的钻探、掘进机(TBM)及工程机械,扩大服务领域,并在国际钻探工程装备界占领一席之地,成为中国出口创汇的一个新的增长点。

我国钻探工程设备的设计研究潜力很大,水平也很高。表现在机器人化自动钻机和爬管机器人出世。

由中国矿业大学与哈尔滨工业大学共同研制的国家"863"高科技攻关项目——机器人化自动钻机,已在徐州煤矿井下试验成功。该机全部实现自动控制,操作人员能够在井外1000 m范围内,通过电缆传输系统,遥控指挥机器人化自动钻机作业。该机带有瓦斯和温度传感器,配备有摄像机和显示器,使操作人员能够在远距离对钻机进行监控。据专家介绍,该机正式投入使用后,可有效避免过去钻机操作人员在坑道内现场操作时,由于瓦斯、矿井水、煤浆突出所带来的人员伤亡。

爬管机器人最近在哈尔滨工业大学机电工程学院研制成功并通过验收。爬管作业机器人可爬进管道内准确涂抹、修补钢铁水泥管道破损面。

九、大力发展岩土钻掘工程

国家建设事业的发展,也带来了岩土钻掘工程的发展。在隧道工程方面,隧道类型的增多和断面的增大,使我们创造性地运用并发展了新奥法;控制爆破方面,也发展迅速,有了许多新的工艺;锚固工程,技术进步更是显著,为许多灾害治理提供了技术条件;岩土钻掘工程已经成功地应用于岩土钻探、掘进、地质灾害治理、环境治理、控制爆破、道路桥梁建设、非开挖铺设管道工程、高层建筑装饰铺缆工程、双向施工中的基础工程、地下空间开发工程、水域工程钻探、国防工程、城市地面沉降等,并逐步延伸到飞机场与航空港改造工程;大型排污与污水处理工程,大型饮用水改水工程,沙漠与干旱地区地下水开采工程和矿山工程等。

十、环境与地质灾害治理工程

国际知名地质学家,国际前地科联(IUGC)主席费菲(W. W. Fyfe)曾说过这样一段名言:"人类只生存在一个星球上。人口快速增长,环境日益恶化,动植物灭绝加快,人类面临严重挑战。地球科学家为了人类的未来,不仅仅要研究地球的'昨天',还要重视研究地球的'今天'和'明天'。研究重点应放在人类赖以生存的水资源、矿产资源、能源、核废料处理、地震与火山喷发预报等。21世纪以后咸水将成最好的饮水。"他只谈到了水,是因为水是生存环境恶化的集中表现。而水、工、环三者又是密切联系在一起的,今后水、工、环的研究应该从整体考虑,即从地球科学的整体考虑,单独从环境地质学角度去考虑已经非常不够了。环境的恶化与地质灾害是密切相关的,环境恶化是因,地质灾害是果。

近几十年来,环境科学研究已成为世界瞩目的课题。然而,环境恶化正在日益加重,环境科学研究已迫不及待。从地球科学的整体考虑,就是需要研究来自大气圈、水圈、生物圈和岩石圈中的各种影响,对生态环境的各种危害,也可以称之为"地球大环境的研究",大环境的研究将演变成为一个"大科学项目"。大科学项目的实施,一是在现在的基

础上，逐步加以拓宽；二是由许多相关部门联合起来。

钻探工程技术的发展远景是与未来的国土资源地质工作的前景密切相关。应着眼于21世纪人类对土地矿产资源、能源日益增长的需要，着眼于21世纪以后人类生存环境、生态环境的进一步恶化，治理预防地质灾害，保护环境与治理已污染的环境，将是一个迫不及待、势在必行的长期任务。因此，钻探工程的未来任务应该涵盖三大方面。即：

①勘探钻探与坑探工程；

②大陆科学钻探；

③岩土钻掘工程（又称岩土工程）。

参考文献

[1] 张立新. 地质学实践教程[M]. 哈尔滨:哈尔滨地图出版社,2010 年.

[2] 陈官兴. 采煤概论[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2007 年.

[3] 张吉春. 煤矿开采技术[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2009 年.

[4] 杨相海. 井巷工程[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2009 年.

[5] 杨 伦. 普通地质学简明教程[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2006 年

[6] 孙广义. 采煤概论[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2007 年.

[7] 张立新. 地质学理论教程[M]. 哈尔滨:哈尔滨地图出版,2008 年.

[8] 王定武. 煤田地质与勘探方法[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2005 年.

[9] 曹剑峰. 专门水文地质学[M]. 北京:科学出版社,2007 年.

[10] 郭超英. 岩土工程勘探[M]. 北京:地质出版社,2012 年.

[11] 曹允伟. 煤矿开采方法[M]. 北京:煤炭工业出版社,2010 年.

[12] 徐 博. 煤化学 [M]. 北京:煤炭工业出版社,2011 年.

[13] 张国枢. 通风安全学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2004 年.

[14] 严建华. 矿井通风技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,2009 年.

[15] 李增学. 煤矿地质学[M]. 北京:煤炭工业出版社,2011 年.

[16] 车树成. 煤矿地质学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2006 年.

[17] 马锁柱. 钻探工程技术[M]. 郑州:黄河水利出版社,2009 年.

[18] 马植侃. 钻探工程学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1998 年.

[19] 陈洪冶. 矿床学[M]. 北京:地质出版社,2007 年.

[20] 李 伟. 采矿 CAD 绘图使用教程[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2011 年.

[21] 何沛锋. 矿山测量[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2009 年.